

**ANALISIS DOSIS PADA PENGOBATAN PENYAKIT KANKER OTAK
GLIOBLASTOMA MULTIFORME DENGAN METODE *BORON NEUTRON
CAPTURE THERAPY* (BNCT) MENGGUNAKAN *PARTICLE AND HEAVY
ION TRANSPORT CODE SYSTEM* (PHITS)**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk memenuhi Gelar Sarjana Sains



Disusun oleh :

Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul

**ANALISIS DOSIS PADA PENGOBATAN PENYAKIT KANKER OTAK
GLIOBLASTOMA MULTIFORME DENGAN METODE *BORON NEUTRON
CAPTURE THERAPY* (BNCT) MENGGUNAKAN *PARTICLE AND HEAVY
ION TRANSPORT CODE SYSTEM* (PHITS)**

Disusun oleh :

Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Tugas Akhir Skripsi bagi yang bersangkutan.

Yogyakarta, 25 September 2018

Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Ir. Yohannes Sardjono, APU

Dr. Eng. Rida Siti Nur'aini M.

NIP 19590610 198103 1 002

19840818 201404 2 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Fisika

Nur Kadarisman, M. Si.

NIP 19640205 199101 1 001

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM : 14306141030

Program Studi : Fisika

Judul Skripsi : Analisis Dosis pada Pengobatan Penyakit Kanker Otak Glioblastoma Multiforme dengan Metode *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) Menggunakan *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS)

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul tersebut di atas saya susun dengan sejujurnya berdasarkan norma akademik. Adapun semua kutipan di dalam skripsi ini telah saya sertakan nama pembuatnya/penulisnya dan telah saya cantumkan kedalam daftar pustaka.

Pernyataan ini saya buat sebenar-benarnya dan apabila di kemudian hari saya terbukti melanggar pernyataan saya tersebut di atas, saya bersedia menerima sanksi sesuai aturan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 September 2018

Yang menyatakan



Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi




ANALISIS DOSIS PADA PENGOBATAN PENYAKIT KANKER OTAK GLIOBLASTOMA MULTIFORME DENGAN METODE *BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY (BNCT)* MENGGUNAKAN *PARTICLE AND HEAVY ION TRANSPORT CODE SYSTEM (PHITS)*

Disusun oleh :

Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Yogyakarta pada Tanggal 28 September 2018

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Prof. Ir. Yohannes Sardjono, A.P.U. NIP. 19590610 198103 1 002	Ketua Penguji		8/10/2018
Nur Kadarisman, M.Si. NIP. 19640205 199101 1 001	Penguji Utama		8/10/2018
Dr. Eng. Rida Siti Nur'aini M. NIP. 19840818 201404 2 001	Penguji Pendamping		8/10/2018

Yogyakarta, 8. Oktober 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono, M. Si.
NIP. 19620329 198702 1 002

HALAMAN PENGESAHAN PERSETUJUAN PSTA-BATAN

SKRIPSI

**ANALISIS DOSIS PADA PENGOBATAN PENYAKIT KANKER OTAK
GLIOBLASTOMA MULTIFORME DENGAN METODE *BORON
NEUTRON CAPTURE THERAPY* (BNCT) MENGGUNAKAN *PARTICLE
AND HEAVY ION TRANSPORT CODE SYSTEM* (PHITS)**

Oleh :

Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

Telah Disetujui dan Disahkan

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator (PSTA-BATAN) Yogyakarta

Pada tanggal : Oktober 2018

Kepala Bidang Fisika Partikel

Pembimbing di PSTA BATAN

Ir. Puradwi Ismu Wahyono, DEA

NIP 19611025 198810 1 001

Prof. Ir. Yohannes Sardjono, APU

NIP 19590610 198103 1 002

Menyetujui

PLT. Kepala PSTA BATAN

Edy Giri Rachman Putra, Ph.D

NIP 19700327 199403 1 003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Tidaklah Allah Subhanahu wa Ta’ala menurunkan sebuah penyakit melainkan menurunkan pula obatnya.” (HR. Al Bukhari dan Muslim)

Skripsi ini kupersembahkan untuk Bapak dan Ibu tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik moril dan materil sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan lancar.

Terimakasih atas dukungan dari teman-teman Prodi Fisika Konsentrasi Nuklir Universitas Negeri Yogyakarta yang selalu setia saling membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

Untuk Ahmad Faisal Harris, Dhani Nur Indra Syamputra, Azzam Zukhrofani Iman, Siti Nurul Fadzilah, dan Wulan Suciani terimakasih atas bantuan yang kalian berikan. Semoga berkah dan kesuksesan selalu mengiringi kalian, sukses untuk kita semua.

**ANALISIS DOSIS PADA PENGOBATAN PENYAKIT KANKER OTAK
GLIOBLASTOMA MULTIFORME DENGAN METODE BORON NEUTRON
CAPTURE THERAPY (BNCT) MENGGUNAKAN PARTICLE AND HEAVY
ION TRANSPORT CODE SYSTEM (PHITS)**

Oleh :

Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi boron yang efektif dan aman, serta lama waktu iradiasi yang diperlukan untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme, selain itu juga untuk melihat bagaimana pengaruh besar konsentrasi boron terhadap besar laju dosis dan waktu iradiasinya melalui metode simulasi program untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme.

Penelitian ini menggunakan *Particle and Heavy Ions Transport code System* (PHITS) untuk mensimulasikan proses terapi BNCT pada pasien tumor otak glioblastoma multiforme dengan sumber neutron dari Reaktor Riset Kartini. Program dibuat dengan membuat geometri dari seluruh jaringan kepala dengan sel kanker yang berlokasi di lobus temporal otak sebelah kiri atau dekat pelipis sebelah kiri. Konsentrasi boron yang dipakai menggunakan 9 variasi konsentrasi yaitu 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan kanker. Keluaran dari program PHITS adalah fluks neutron dan dosis neutron. Fluks neutron lalu digunakan untuk menghitung dosis boron, dosis proton, dan dosis gamma di dalam jaringan.

Hasil dari penelitian ini berupa : (1) Konsentrasi boron efektif adalah berada di kisaran 80 $\mu\text{g}/\text{g}$, 90 $\mu\text{g}/\text{g}$, dan 100 $\mu\text{g}/\text{g}$ jaringan. (2) Jumlah konsentrasi boron di dalam jaringan kanker yang semakin besar akan meningkatkan tingkat laju dosis serap total yang diterima oleh kanker. (3) Waktu iradiasi efektif terjadi pada konsentrasi boron di kisaran 80 $\mu\text{g}/\text{g}$, 90 $\mu\text{g}/\text{g}$, dan 100 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan kanker yang didapat dengan waktu penyinaran 4 jam dan 19 menit, 3 jam dan 53 menit, dan 3 jam dan 33 menit. (4) Jumlah konsentrasi boron di dalam jaringan kanker yang semakin meningkat akan memperpendek waktu penyinaran iradiasi saat terapi berlangsung.

Kata kunci : BNCT, Glioblastoma Multiforme, Dosis Boron

**THE DOSE ANALYSIS FOR BRAIN CANCER (GLIOBLASTOMA
MULTIFORME) TREATMENT WITH BORON NEUTRON CAPTURE
THERAPY (BNCT) METHOD USING PARTICLE AND HEAVY ION
TRANSPORT CODE SYSTEM (PHITS)**

By :
Muhammad Yatsrib Ramadhan
NIM 14306141030

ABSTRACT

This research aims to determine the effective and safe boron concentration, and the length of irradiation time needed for the treatment of glioblastoma multiforme brain cancer, other than that, this research aims to seeing how large the effect of boron concentration on the dose rate and irradiation time through a program simulation method for brain cancer therapy glioblastoma multiforme.

This research used Particle and Heavy Ions Transport code System (PHITS) to simulate the process of BNCT therapy for glioblastoma multiforme patients with neutron sources from the Kartini Research Reactor to find the optimum dose of boron and effective irradiation time for glioblastoma multiforme BNCT treatment. The program was made by making the geometry of the entire head tissue with cancer cells located in the left temporal lobe or near the left temple. The simulation is used 9 boron concentration variations which is 20, 30, 40, 50, 60, 70 80 90, and 100 $\mu\text{g} / \text{gram}$ of cancer tissue. The output of the PHITS program is neutron flux and neutron dose. The neutron flux is then used to calculate the boron dose, proton dose, and gamma dose in the tissue.

The results of this research are: (1) Effective boron concentration is in the range of 80 $\mu\text{g} / \text{g}$, 90 $\mu\text{g} / \text{g}$, and 100 $\mu\text{g} / \text{g}$ tissue. (2) The amount of boron concentration in cancer tissue which is greater will also increase the rate of total absorption dose received by cancer. (3) Effective irradiation time occurred at boron concentration in the range of 80 $\mu\text{g} / \text{g}$, 90 $\mu\text{g} / \text{g}$, and 100 $\mu\text{g} / \text{gram}$ of cancer tissue obtained with 4 hours and 19 minutes, 3 hours and 53 minutes of irradiation time, and 3 hours and 33 minutes. (4) The amount of boron concentration in the cancer tissue which increases will shorten the irradiation irradiation time during therapy.

Keyword: BNCT, Glioblastoma Multiforme, Boron Dose Analysis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir skripsi yang berjudul “**Analisis Dosis pada Pengobatan Penyakit Kanker Otak Glioblastoma Multiforme dengan Metode *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) Menggunakan *Particle and Heavy Ion Transport Code System* (PHITS)**”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu, khususnya kepada :

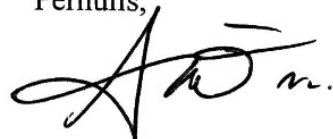
1. Bapak Prof. Ir. Yohannes Sardjono, A.P.U. selaku pembimbing I yang telah memberikan arahan, masukan, dan membimbing penulis melaksanakan penelitian Tugas Akhir Skripsi.
2. Ibu Dr. Eng. Rida Siti Nur'aini M. selaku pembimbing II yang telah memberikan arahan dan masukan dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir Skripsi.
3. Bapak Prof. Ir. Yohannes Sardjono, A.P.U., Bapak Nur Kadarisman, M.Si., dan Ibu Dr. Eng. Rida Siti Nur'aini M. Selaku Ketua Penguji, Penguji, dan Sekretaris Penguji yang sudah memberikan koreksi perbaikan secara komprehensif terhadap Tugas Akhir Skripsi ini.
4. Bapak Nur Kadarisman, M.Si. selaku Ketua Prodi Fisika yang telah memberikan izin kepada penulis dalam melaksanakan Tugas Akhir Skripsi
5. Bapak Yusman Wiyatmo, M.Si. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Fisika yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melaksanakan Tugas Akhir Skripsi.

6. Bapak Dr. Hartono, M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mengesahkan Tugas Akhir Skripsi ini.
7. Bapak Ir. Widarto, Bapak Agus Pitoyo, mba Rosi, dan mba Afifah di PSTA BATAN yang telah membantu dan memberikan masukan dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir Skripsi.
8. Semua pihak, yang secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan disini atas bantuan dan perhatiannya selama penyusunan Tugas Akhir Skripsi ini

Akhirnya, semoga segala bantuan yang telah diberikan semua pihak diatas menjadi amalan yang bermanfaat dan mendapatkan balasan dari Allah SWT dan Tugas Akhir Skripsi ini menjadi informasi bermanfaat bagi pembaca atau pihak lain yang membutuhkannya.

Yogyakarta, 8 Oktober 2018

Pernulis,



Muhammad Yatsrib Ramadhan

NIM 14306141030

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PENGESAHAN PSTA BATAN	v
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Pembatasan Masalah	8
D. Rumusan Masalah	9
E. Tujuan	9
F. Manfaat	10

BAB II KAJIAN PUSTAKA

A. DESKRIPSI TEORI	11
1. Glioblastoma Multiforme	11
2. <i>Boron Neutron Capture Therapi</i> (BNCT)	14
3. Reaktor Kartini	26
4. <i>Particle and Heavy Ion Transport System</i> (PHITS)	31
B. PENELITIAN YANG RELEVAN	33

C. KERANGKA BERPIKIR.....	35
 BAB III METODE PKL	
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	36
B. Variabel Penelitian.....	36
C. Instrumen Penelitian	37
D. Desain Penelitian	38
E. Model Organ	39
F. Massa Jenis Organ	41
G. Fraksi Massa Unsur Penyusun	42
H. Algoritma PHITS	43
I. Teknik Analisis Data.....	48
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
 BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	75
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Foto pembedahan kanker otak glioblastoma multiforme.....	5
Gambar 2.1. Grafik persebaran kasus tumor otak glioma di Amerika Serikat	11
Gambar 2.2. Grafik distribusi letak glioblastoma di Amerika Serikat.....	12
Gambar 2.3. Bagian-bagian lobus otak	13
Gambar 2.4. Reaksi tangkapan neutron dengan boron di dalam sel kanker	16
Gambar 2.5. Kurva Distribusi fluks neutron termal dan neutron epitermal.....	20
Gambar 2.6. Skema Teras Reaktor TRIGA	27
Gambar 2.7. Tangki Reaktor Kartini	27
Gambar 2.8. Bahan Bakar Reaktor Kartini	29
Gambar 2.9. Bentuk geometri otak dan letak kanker (Kholidah N. M.)	34
Gambar 3.1. Desain Penelitian.....	38
Gambar 3.2. Geometri phantom organ secara dua dimensi	39
Gambar 3.3. Geometri sel kanker terdiri dari 3 jaringan PTV, CTV, GTV.....	39
Gambar 3.4. Geometri phantom kepala secara tiga dimensi.....	40
Gambar 3.5. Geometri phantom kepala secara tiga dimensi mode transparan	40
Gambar 3.6. Geometri sel kanker secara tiga dimensi tampak dekat	40
Gambar 3.7. Algoritma Simulasi PHITS	43
Gambar 3.8. Contoh bentuk input material pada PHITS	46
Gambar 3.9. Contoh input <i>surface section</i> pada PHITS	46
Gambar 3.10. Contoh input <i>cell section</i> pada PHITS	48
Gambar 4.1. Jarak organ kanker dengan permukaan kulit sebesar 2,7 cm	56
Gambar 4.2. karakteristik fluks neutron pada kedalaman jaringan.....	57
Gambar 4.3. Titik puncak fluks neutron pada kedalaman jaringan	58
Gambar 4.4. Jalur tembakan neutron pada <i>phantom</i> kepala	59
Gambar 4.5. jejak fluks neutron pada <i>phantom</i> pada konsentrasi 100 $\mu\text{g/g}$	59
Gambar 4.6. Nilai laju ke-empat dosis untuk konsentrasi 100 $\mu\text{g/g}$	62
Gambar 4.7. Nilai laju dosis total untuk setiap organ yang di ujicobakan.....	65
Gambar 4.8. Grafik nilai laju dosis total pada organ GTV	66
Gambar 4.9. Grafik perbandingan waktu iradiasi dengan nilai konsentrasi.	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Tabel data statistik kanker di dunia tahun 2012.....	2
Tabel 2.1. Evaluasi Teknik Radioterapi Pasien Glioblastoma Multiform	14
Tabel 2.2. Perbandingan Tampang Lintang	15
Tabel 2.3. Uji Klinis Metode BNCT 1951 – 2005	21
Tabel 2.4. Rekomendasi IAEA untuk keluaran kolimator.....	22
Tabel 2.5. Keluaran Kolimator Reaktor Kartini.....	23
Tabel 3.1. Nilai a, b, c , pada phantom otak untuk setiap umur	40
Tabel 3.2. Data massa jenis untuk setiap organ	41
Tabel 3.3. Fraksi massa tiap unsur pada jaringan	42
Tabel 3.4. Komponen utama penyusun jaringan kanker.....	43
Tabel 3.5. Input pada PHITS.....	44
Tabel 3.6. Parameter pada PHITS.....	45
Tabel 3.7. Tipe <i>source</i> pada PHITS	45
Tabel 3.8. Faktor Kualitas Radiasi.....	52
Tabel 4.1. Nilai laju dosis untuk setiap organ.....	60
Tabel 4.2. Nilai laju dosis total untuk setiap organ yang di ujicobakan	64
Tabel 4.3. Nilai laju dosis total pada organ GTV	65
Tabel 4.4. Waktu iradiasi terapi BNCT per konsentrasi boron.....	67
Tabel 4.5. Dosis serap total untuk setiap organ.	68
Tabel 4.6. Efek deterministik pada kulit (<i>Ghent University Hospital</i>)	69
Tabel 4.6. Efek deterministik pada kulit (Bapeten)	69
Tabel 4.6. Efek deterministik pada kulit (ICRP)	69
Tabel 4.7. Perkiraan efek deterministik pada kulit	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Program Simulasi untuk PHITS	82
Lampiran 2. Perhitungan Fraksi Massa Boron.....	99
Lampiran 3. Data Volume dan Fraksi Massa Penyusun Material Organ.....	103
Lampiran 4. Data Fraksi Dosis Serap Gamma.....	113
Lampiran 5. Perhitungan Laju Dosis	114

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kanker adalah salah satu penyakit yang mendapatkan perhatian serius oleh peneliti dan praktisi di bidang kesehatan. Kanker bersifat mematikan dan dapat menyerang siapa saja, baik laki-laki, perempuan, anak-anak maupun orang dewasa. Penyakit kanker adalah penyakit yang dicirikan dengan pertumbuhan sel yang tidak terkendali dan penyebaran sel yang tidak normal yang dapat menyebar ke jaringan lainnya melalui sirkulasi darah atau sistem limfatik yang biasa disebut metastasis (*World Cancer Report*, 2014). Kanker disebabkan oleh faktor eksternal, seperti merokok, terinfeksi oleh virus atau bakteri, gaya hidup yang tidak sehat, dan faktor internal seperti mewarisi gen yang termutasi, kelainan hormon, serta kelainan pada kondisi imun tubuh (*American Cancer Society*, 2015).

Kanker termasuk ke dalam penyakit tidak menular atau *Non Commucable Diseases* (NCD) dan kebanyakan ditemukan di negara-negara berkembang (IAEA, 2014). Di dunia, kasus kanker terbanyak adalah kanker paru-paru (1,8 juta orang, 13% dari total), kanker payudara (1,7 juta orang, 11,9% dari total), dan kanker kolon rektal (1,4 juta orang, 9,7% dari total) (Chan & Ismail, 2014), sementara kematian terbanyak disebabkan oleh kanker paru-paru, kanker lambung, dan kanker hati (Payudan, Aziz, & Sardjono, 2016). Di Indonesia, kasus NCD diperkirakan mencapai 71% dari total kasus kematian, dan kasus kematian akibat kanker menjadi kasus NCD terbanyak

kedua setelah penyakit jantung yaitu sebanyak 37% dari total kematian akibat NCD. (*World Health Organization*, 2014). Pada Laki-laki, kasus kanker terbanyak adalah kanker prostat di negara maju, dan kanker paru-paru di negara berkembang, sedangkan pada wanita adalah kanker payudara (*World Health Organization*, 2014). Pada kasus kanker otak yang menjadi topik utama penelitian ini menurut data WHO di tahun 2012 hanya ada kurang dari sekitar 2% dari jumlah keseluruhan kasus kanker di dunia, namun karakteristiknya yang bersifat ganas membuat angka *survival rate* (waktu bertahan hidup dari penyakit seperti kanker setelah dilakukan diagnostik atau setelah memulai *treatment*) sangat rendah yaitu sebanyak 35% saja (Siegel, Miller, & Jemal, 2016).

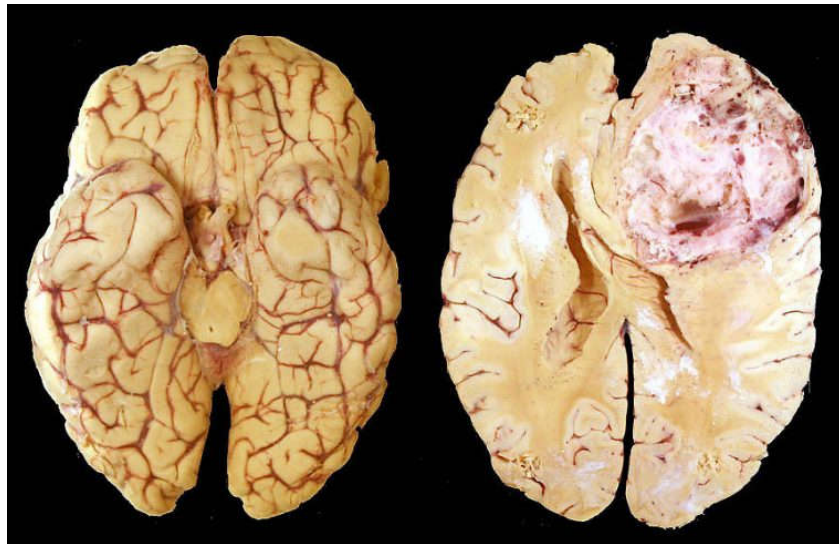
Tabel 1.1 Tabel data statistik kanker di dunia tahun 2012, kanker otak menduduki peringkat 17 dengan 256 ribu kasus baru (1,8% dari total) di tahun 2012 (World Cancer Research Fund International, 2015).

Rangking	Jenis Kanker	Kasus yang terdiagnosis (data 2012)	Persentase jumlah kasus kanker
1	Paru-paru	1.825.000	13,0 %
2	Payudara	1.677.000	11,9 %
3	Usus besar	1.361.000	9,7 %
4	Prostat	1.112.000	7,9 %
5	Perut	952.000	6,8 %
6	Hati	782.000	5,6 %
7	Mulut Rahim	528.000	3,7 %
8	Kerongkongan	456.000	3,2 %
9	Kandung kemih	430.000	3,1 %
10	Limpa	386.000	2,7 %
11	Leukimia	352.000	2,5 %
12	Pankreas	338.000	2,4 %
13	Ginjal	338.000	2,4 %

14	Badan Rahim	320.000	2,3 %
15	Mulut	300.000	2,1 %
16	Tiroid	298.000	2,1 %
17	Otak	256.000	1,8 %
18	Rahim	239.000	1,7 %
19	Melanoma kulit	232.000	1,6 %
20	Kantung empedu	178.000	1,3 %

Kanker otak adalah kondisi dimana terjadi pertumbuhan sel secara abnormal di otak. Kanker otak bisa timbul dari sel otak primer, atau dari sel-sel yang membentuk komponen otak lainnya misalnya selaput otak, pembuluh darah, atau dari pertumbuhan sel kanker yang berkembang di organ lain yang telah menyebar ke otak oleh aliran darah (secara metastasis atau kanker otak sekunder) (*Cancer Research United Kingdom*, 2017). Ada sedikit perbedaan antara tumor otak dan kanker otak, tidak semua tumor otak bersifat kanker. Pengertian tumor sendiri adalah sekumpulan sel yang tumbuh secara berlebihan. Tumor jinak atau benigna terdiri dari sel-sel yang tidak bersifat ganas yang sifatnya tidak dapat menyebar ke jaringan sehat lain, sedangkan tumor ganas atau maligna adalah sekumpulan sel-sel yang terdiri dari sel kanker dan bersifat ganas yang sifatnya mampu menyerang jaringan sehat dan organ terdekat, atau menyebar ke seluruh tubuh. Kanker adalah istilah yang dicadangkan untuk tumor ganas. (Nurwati & Prasetya, 2014). Data dari *American Cancer Society* pada tahun 2016, menyebutkan bahwa khusus pada kasus kanker otak di Amerika Serikat terjadi sebanyak 23.770 kasus baru dan sebanyak 16.050 orang meninggal dunia di tahun 2016, dengan kemungkinan bertahan hidup hanya sebanyak 35% (Siegel et al., 2016).

Tumor di dalam otak yang berasal dari sel glia disebut juga dengan glioma. Glioma merupakan jenis tumor otak yang paling sering terjadi (sekitar 33% dari kasus tumor otak) dan memiliki empat level keganasan, salah satunya yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah tumor otak glioma sub tipe astrositoma grade/stadium empat yaitu glioblastoma multiforme (*American Brain Tumor Association, 2014*). Glioblastoma multiforme merupakan salah satu jenis dari glioma yang memiliki grade paling tinggi yang biasanya menyerang jaringan yang berdekatan dan bisa menyebar luas di dalam otak, ciri khasnya adalah daerah sel tumor mati (nekrosis) yang ditemukan di dalam inti tumor. Glioblastoma multiforme sendiri mewakili lebih dari sekitar seperempat kasus dari semua tumor otak primer (*American Brain Tumor Association, 2015*).



Gambar 1.1 Foto pembedahan kanker otak glioblastoma multiforme (Standard of Care, 2017).

Standar pengobatan untuk pasien dengan penyakit glioblastoma adalah dengan operasi pengangkatan, kemoterapi dan radioterapi konvensional. Sayangnya, walaupun setelah operasi pengangkatan dan dilanjutkan dengan berbagai terapi tersebut, glioblastoma tetap dapat kembali muncul. (Pointer et al., 2014). Pengobatan dengan terapi pada kanker saat ini masih didasarkan pada pengobatan dengan kemoterapi maupun radioterapi (eksternal, brachyterapi, atau sistemik) dengan tujuan menahan atau mengurangi pertumbuhan tumor, menghilangkan sisa akar tumor setelah operasi dan mengurangi rasa sakit (Cheung-Ong, Giaever, & Nislow, 2013). Disamping metode-metode tersebut masih ada beberapa terapi kanker yang belum umum digunakan secara luas dan masih dalam penyempurnaan seperti proton terapi, karbon terapi, dan imunoterapi.

Kemoterapi maupun radioterapi konvensional memiliki berbagai efek samping yang tidak kecil pada pengobatannya. Kemoterapi sendiri memiliki efek samping seperti rambut yang rontok, gangguan kesuburan, mudah pendarahan seperti mimisan, dan beberapa efek samping yang lainnya karena obat-obatan yang digunakan tidak memiliki kemampuan untuk membedakan sel kanker yang berkembang pesat secara abnormal dan sel sehat yang juga memiliki perkembangan pesat seperti sumsum tulang belakang yang memproduksi sel darah baru, sel kulit, dan folikel rambut (Chan & Ismail, 2014). Begitu juga radioterapi, dengan tekniknya yang memberikan partikel atau gelombang berenergi tinggi seperti sinar-X untuk membunuh sel kanker (*American Cancer Society*, 2015) mempunyai efek samping yang cukup besar

karena sel sehat di daerah sekitar sel kanker ikut terkena efek yang sama. Karena permasalahan itulah dosis radioterapi harus sangat dibatasi sehingga efeknya terhadap kanker pun relatif kecil (Wittig, Moss, & Sauerwein, 2014).

Seiring dengan perkembangan teknologi, radioterapi selama beberapa dekade mengalami berbagai inovasi dan salah satu inovasinya adalah *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) yang dipandang dapat menjadi solusi pengobatan yang aman dan ideal untuk banyak jenis kanker (Moss, 2014). BNCT merupakan metode kemo-radioterapi dengan menggunakan nuklida non radioaktif boron-10 yang memiliki kecenderungan tinggi menangkap neutron berenergi rendah (neutron termal) (Rosidah, Sardjono, & Sumardi, 2017), BNCT merupakan metode pengobatan yang ideal dan aman dalam membunuh sel-sel kanker secara selektif tanpa merusak sel sehat di sekitarnya karena efek radiasi dapat dibatasi pada sel-sel kanker saja. Namun metode BNCT hingga kini masih berstatus pengobatan eksperimental dan belum banyak diaplikasikan kepada pasien kanker secara umum terutama karena metode ini masih harus melalui banyak penelitian lebih lanjut (Moss, 2014). Namun tidak menutup kemungkinan bahwa ke depannya metode BNCT dapat menjadi metode utama dalam pengobatan kanker.

Penelitian ini sendiri akan mempelajari tentang jumlah dosis serap (dengan satuan Gray) pada kanker otak glioma astrositoma *grade* empat glioblastoma multiforme yang aman pada pelaksanaan terapi BNCT, sehingga dapat diperoleh batas dosis boron-10 dan waktu iradiasi yang aman untuk terapi BNCT dengan simulasi program permodelan. Mengenai algoritma perhitungan

dosis yang terpasang pada terapi BNCT, metode Monte Carlo biasanya digunakan untuk menentukan akurasi dosis (Kumada et al., 2015). Untuk itu program PHITS (*Particle and Heavy Ion transport Code System*) yang berbasis Monte Carlo digunakan untuk menyimulasikan fluks neutron (Sato et al., 2013) yang ditembakkan kepada phantom kepala dengan geometri dari tumor otak glioblastoma multiforme di dalamnya.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Kanker otak merupakan salah satu jenis kanker yang sulit untuk diobati dengan angka bertahan hidup penderitanya yang sangat kecil.
2. Belum ada metode pengobatan yang cukup efektif untuk mengatasi penyakit kanker otak hingga saat ini, hal ini ditandai dengan angka bertahan hidup penderitanya yang sangat kecil, sehingga metode BNCT dengan segala keunggulannya dapat dijadikan alternatif terapi penyakit kanker yang ideal.
3. Konsentrasi boron dan waktu optimal iradiasi yang digunakan untuk membunuh sel kanker perlu diteliti untuk memperoleh hasil yang baik pada terapi BNCT.

C. Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada permasalahan-permasalahan sebagai berikut.

1. Jenis kanker otak yang dipilih adalah kanker otak glioma astrositoma stadium empat glioblastoma multiforme.
2. Letak tumor berada di bagian otak primer cerebrum tepatnya di lobus temporal di otak bagian kiri (pelipis).
3. Volume tumor primer diasumsikan sebesar $14,14 \text{ cm}^3$.
4. Variasi konsentrasi boron yang diujikan di dalam simulasi yaitu 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 μg boron/gram tumor.
5. Penelitian yang dilakukan adalah simulasi dengan menggunakan program PHITS (*Particle and heavy Ion Transport Code System*).
6. Sumber neutron yang digunakan adalah sumber neutron hasil keluaran desain kolimator dari Desain Konseptual Kolimator Neutron di Reaktor Riset Kartini untuk *Boron Neutron Capture Therapy*.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut.

1. Berapa konsentrasi boron yang efektif untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT ?
2. Bagaimana pengaruh besar konsentrasi boron terhadap tingkat laju dosis serap untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT ?
3. Berapa lama waktu optimal/efisien yang dibutuhkan untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT ?
4. Bagaimana pengaruh besar konsentrasi boron terhadap lama waktu iradiasi untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT ?

E. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui konsentrasi boron yang efektif untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi boron terhadap tingkat laju dosis serap untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT.

3. Mengetahui lama waktu iradiasi optimal pada konsentrasi boron efektif yang dibutuhkan untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT.
4. Mengetahui pengaruh konsentrasi boron terhadap lama waktu iradiasi untuk terapi kanker otak glioblastoma multiforme menggunakan metode BNCT.

F. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat digunakan sebagai referensi untuk keperluan eksperimen uji in vivo dan in vitro BNCT menggunakan Reaktor Kartini.
2. Melengkapi penelitian yang sudah ada sebelumnya tentang terapi kanker menggunakan BNCT.
3. Melanjutkan proyek besar dalam pemanfaatan dan penggunaan teknologi BNCT untuk terapi kanker di Indonesia.

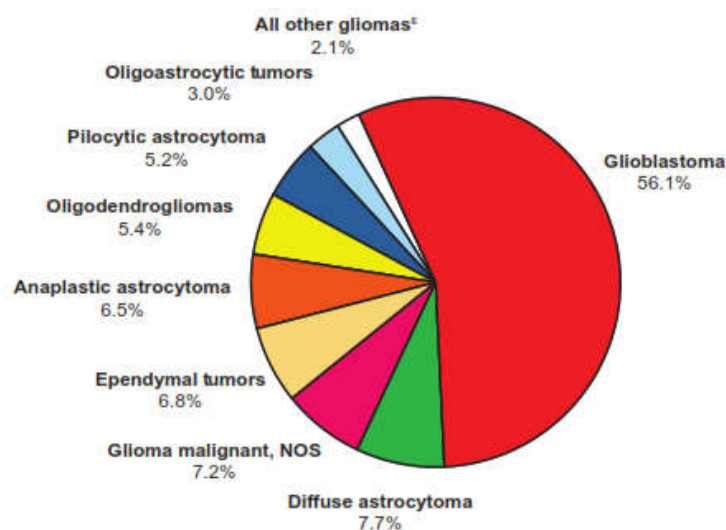
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. DESKRIPSI TEORI

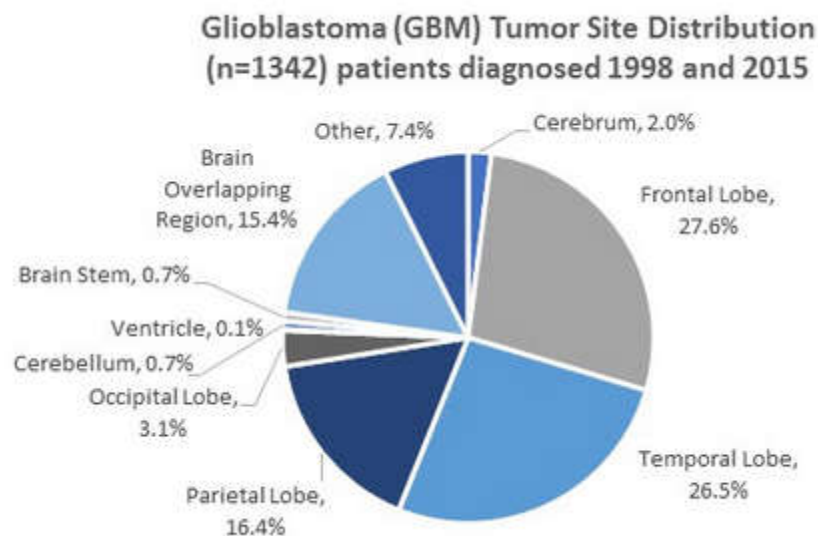
1. Glioblastoma Multiforme

Tumor di dalam otak yang berasal dari sel glia disebut juga dengan glioma. Glioma merupakan jenis tumor otak yang paling sering terjadi dan memiliki empat level keganasan, salah satunya yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah tumor otak glioma sub tipe astrositoma *grade* empat yaitu glioblastoma multiforme (*American Brain Tumor Association*, 2014). Data pada tahun 2010 -2014 di Amerika Serikat, glioblastoma multiforme menjadi salah satu jenis dari glioma yang cukup mendominasi yaitu 56,1% dari jumlah total kasus tumor otak glioma (Ostrom et al., 2017).



Gambar 2.1 Grafik persebaran kasus tumor otak glioma di Amerika Serikat tahun 2010 – 2014 (Ostrom et al., 2015).

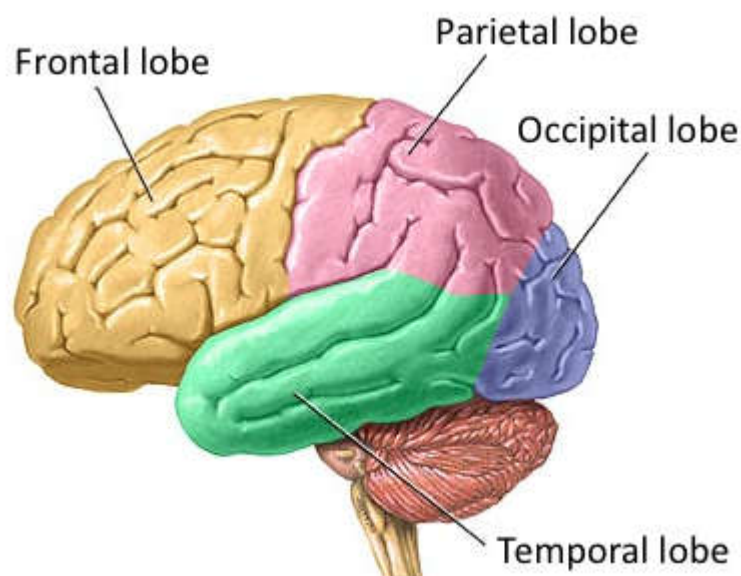
Glioblastoma multiforme berkembang dari sel glia yang berbentuk bintang (astrosit dan oligodendrosit) yang berfungsi mendukung kesehatan sel saraf di dalam otak. Glioblastoma multiforme adalah glioma yang memiliki *grade* paling tinggi. *Grade* dari jaringan tumor sendiri menunjukkan keganasan tumor dan kecepatan tumbuh dari jaringan tumor. Pertumbuhan yang tidak normal dari jaringan tumor tersebut mengakibatkan adanya massa yang menekan jaringan otak sehingga otak tidak dapat bekerja secara optimal (AANS, 2018). Glioblastoma multiforme paling sering terjadi di bagian lobus frontal, lobus parietal dan lobus temporal pada otak (Nizamutdinov et al., 2018) yang dibuktikan dengan grafik sebagai berikut.



Gambar 2.2 Grafik distribusi letak glioblastoma multiforme di Amerika Serikat tahun 1998 – 2015 (Cedars-Sinai Medical Centre, 2018).

Lobus frontalis sendiri adalah belahan otak bagian depan (di bagian dahi) yang mengatur kepribadian, emosi, kecerdasan, konsentrasi, berbicara, menulis, gerakan tubuh, dan kesadaran diri. Lobus parietal adalah belahan otak bagian atas (di bagian ubun-ubun) yang mengintegrasikan

informasi sensorik dari berbagai bagian tubuh seperti rasa sakit, sensasi sentuhan, rangsangan, dan sebagainya. Lobus temporal adalah belahan otak bagian samping (di bagian pelipis) yang bertanggung jawab atas semua proses pendengaran, juga pembentukan memori jangka panjang, terakhir lobus oksipital (di bagian kepala belakang) adalah lobus terkecil dari keempat lobus yang bertanggung jawab pada masalah visual dan pemrosesannya termasuk penglihatan terhadap gerakan dan pengenalan warna (MIT *Departement of Biology*, 2013).



Gambar 2.3 Bagian-bagian lobus otak
(MIT *Departement of Biology*, 2013).

Standar pengobatan untuk pasien dengan penyakit glioblastoma multiforme adalah dengan operasi pengangkatan, kemoterapi dan radioterapi. Namun walaupun terapi dengan metode kemoterapi dan radioterapi semakin berkembang, teknik terbaru gabungan antara kemoterapi dan radioterapi yang paling maju saat ini hanya dapat menambah waktu rata-rata bertahan hidup pasien glioblastoma menjadi 14,6 bulan dengan maksimal mencapai rata-rata 19 – 22 bulan (Gzell, Back,

Wheeler, Bailey, & Foote, 2017), dan hanya 26% (Pointer et al., 2014) hingga 27,2% (Gzell et al., 2017) dari total pasien glioblastoma yang mampu bertahan hidup lebih dari 2 tahun.

Tabel 2.1 Evaluasi Teknik Radioterapi (terapi gabungan dengan kemoterapi) Pasien Glioblastoma Multiforme Hubungannya dengan Kemampuan Bertahan Hidup (Gzell et al., 2017).

Teknik Radioterapi	Era	Rata-rata waktu ketahanan hidup (bulan)
WBRT (kV) 40 45 Gy	1940s	4
WBRT (MV) 45 60 Gy	1960s	8 - 11
WBRT (MV) + Boost 60 Gy	1970s	9
WBRT (MV) + Boost 60 Gy + nitrosureas	1980s	10 - 12
WBRT (MV) + Boost 75 Gy	1980s	14
Two-Phase PBRT (MV) 60 Gy	1980s & 1990s	12
Single-phase PBRT (MV) 60 Gy + TMZ	2000s	14
IMRT/VMAT (MV) 60 Gy + TMZ	2010s	19 - 22

2. *Boron Neutron Capture Therapy (BNCT)*

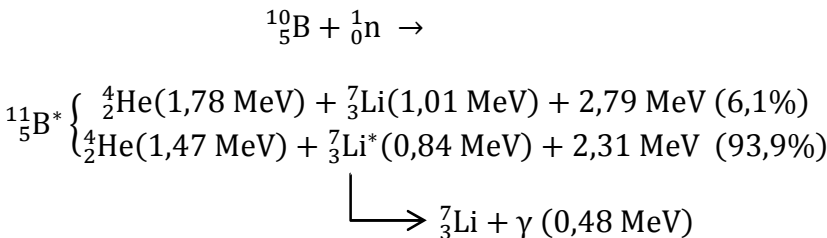
Pada tahun 1932 neutron pertama kali ditemukan oleh Chadwick yang berasal dari *Cavendish Lab - University of Cambridge*. Tiga tahun kemudian, pada tahun 1935, Taylor Burcham, dan Chadwick menunjukkan bahwa boron-10 memiliki kemampuan untuk menangkap neutron termal yang reaksinya kemudian dapat melepaskan ion litium-7, partikel alfa, dan sinar gamma yang bergerak berlawanan arah. Setahun kemudian, orang yang pertama kali mengusulkan bahwa reaksi ini dapat dimanfaatkan untuk pengobatan kanker adalah G.L. Locher (Alexander, 2014).

Boron-10 memiliki interaksi tangkapan neutron tiga orde lebih besar dari unsur lainnya yang ada pada tubuh (Luderer, De La Puente, & Azab, 2015), sekitar 3839 barn (Berlianti, 2013). Tampang lintang ini menunjukkan kemungkinan suatu radiasi untuk berinteraksi dengan suatu materi. Jumlah tersebut sangat jauh lebih besar dibandingkan unsur lainnya yang umum ada pada tubuh manusia. Tabel 2.2 menunjukkan perbandingan nilai tampang lintang boron-10 dengan beberapa unsur utama penyusun tubuh terhadap neutron termal.

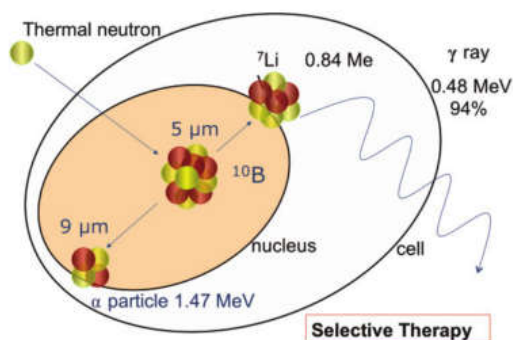
Tabel 2.2 Perbandingan Tampang Lintang (Berlianti, 2013).

Nama unsur	Persen massa (%)	Tampang lintang (barn)
Hidrogen	10,5	32,945
Oksigen	63,5	4,4814
Nitrogen	2,5	13,481
Karbon	22,6	5,576
Boron-10	-	3839

Reaksi tangkapan neutron pada boron-10 akan membuat isotop boron-10 tidak stabil (menjadi boron-11 dengan waktu paruh 10^{-12} detik) sehingga reaksi inti tersebut akan menghasilkan partikel alfa, litium-7 dan sinar gamma yang memiliki energi yang tinggi (1,47 MeV pada partikel alfa, 0,84 MeV pada litium-7, dan 0,48 MeV pada sinar gamma) dengan jangkauan yang relatif kecil (5-10 μm) (Pozzi et al., 2013) (Ardana, 2015) (Purwantoro, 2016). Berikut adalah persamaan reaksi yang terjadi saat BNCT berlangsung.



Metode BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*) adalah metode kemo-radioterapi yang memanfaatkan reaksi tersebut untuk menghancurkan sel kanker. Energi yang tinggi hasil dari reaksi tangkapan neutron oleh boron-10 dapat merusak jaringan lunak seperti sel kanker namun memiliki jangkauan yang kecil (tidak sampai sebesar satu sel kanker) sehingga terapi bersifat selektif dan hanya merusak sel kanker saja (Badhrees et al., 2015).



Gambar 2.4 Reaksi tangkapan neutron dengan boron-10 di dalam sel kanker (Badhrees et al., 2015).

Pada tekniknya, senyawa obat yang mengandung boron-10 diinjeksikan atau diinfus ke dalam tubuh pasien. Setelah menunggu dengan jangka waktu tertentu (selama 1,5 hingga 2,5 jam (Wittig et al., 2014)) senyawa boron diharapkan dapat terakumulasi pada sel kanker secara

optimal, sedangkan jaringan sehat memiliki konsentrasi boron yang lebih rendah. Daerah dimana tumor berada selanjutnya diiradiasi dengan neutron (Savolainen et al., 2013). Hasilnya reaksi inti antara boron -10 dan neutron termal akan menghasilkan energi yang tinggi dari partikel alfa dan litium-7 yang hanya memiliki rentang 5-10 μm di jaringan lunak, jarak tersebut ekuivalen/sepadan dengan diameter satu sel tunggal sehingga efek reaksi inti tersebut hanya akan merusak sel kanker saja (Pozzi et al., 2013). Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa BNCT merupakan terapi pengobatan yang ideal dan aman dalam membunuh sel-sel kanker secara selektif tanpa merusak sel sehat di sekitarnya karena efek reaksi inti dapat dibatasi pada sel-sel kanker saja.

Metode BNCT sudah melakukan uji klinis kepada lebih dari 900 pasien di seluruh dunia dalam kurun waktu lebih dari 60 tahun ke belakang. Namun hingga kini terapi ini masih berstatus pengobatan eksperimental dan belum banyak diaplikasikan kepada pasien kanker secara umum (Neurosurgery, Oncology, & Paediatric, 2014), terutama karena metode ini memiliki berbagai kendala. Metode ini harus memenuhi berbagai syarat dimana harus ada jumlah atom boron-10 yang memadai (ribuan) pada satu sel kanker dan harus ada sejumlah neutron termal yang cukup (puluhan juta per detik) yang ditargetkan pada setiap sel kanker (Moss, 2014).

Untuk memenuhi kedua syarat tersebut dibutuhkan senyawa pembawa boron yang benar-benar tepat sasaran dapat terakumulasi pada sel kanker dan tidak pada sel sehat yang lain, juga dibutuhkan sumber neutron

yang dapat memancarkan neutron epitermal dengan fluks neutron yang tinggi ($1 \times 10^9 \text{ n/s cm}^2$) (Payudan et al., 2016).

a. Agen pembawa Boron-10

Faktor utama dari keberhasilan metode terapi BNCT bergantung pada agen pengiriman boron-10. Menurut (Sherlock Huang et al., 2014), senyawa pembawa boron-10 yang digunakan haruslah memenuhi beberapa syarat yaitu sebagai berikut.

1. Memiliki sifat beracun yang rendah.
2. Serapan di jaringan tumor tinggi dibandingkan dengan di jaringan sehat.
3. Konsentrasi boron yang cukup dalam jaringan tumor.
4. Pembersihan yang cepat dari peredaran darah namun tetap bertahan pada jaringan tumor.

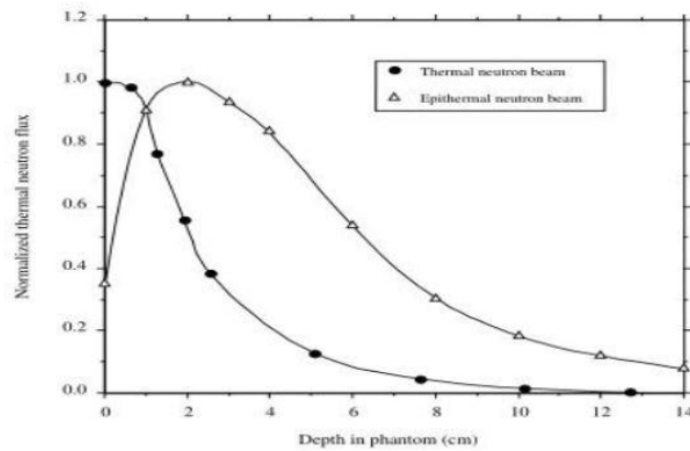
Senyawa pembawa boron yang sering kali digunakan dalam uji klinis yaitu *Boronophenylalanine* atau BPA ($\text{C}_9\text{H}_{12}^{10}\text{BNO}_4$) (Wongthai et al., 2015), dan *Sodium Boronocaptate* atau BSH ($\text{Na}_2^{10}\text{B}_{12}\text{H}_{11}\text{SH}$) (Moss, 2014). Kedua senyawa tersebut memiliki perbedaan pada tempat terakumulasinya saat dimasukkan ke dalam tubuh, BSH akan terakumulasi pada membran sel, sementara BPA akan terakumulasi pada inti sel sehingga saat ini BPA lebih banyak digunakan dan dikembangkan (Nurwati & Prasetya, 2014). Namun kedua senyawa pembawa tersebut pun hingga saat ini belum memenuhi

semua persyaratan untuk agen pembawa yang sempurna karena sulitnya menahan kedua senyawa tersebut hanya pada jaringan tumor saja (Wittig et al., 2014).

Walaupun hingga saat ini belum ditemukan agen pembawa boron-10 yang sempurna, tidak menutup kemungkinan bahwa BNCT ke depannya dapat menjadi metode utama dalam pengobatan kanker. Karena penelitian BNCT khususnya mengenai agen pembawa boron-10 hingga saat ini masih terus dilakukan untuk menuju kesempurnaan.

b. Sumber Neutron

Neutron dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan tingkat energinya, yaitu neutron termal yang memiliki energi $0,5 < \text{eV}$, neutron epitermal dengan rentang energi $0,5 \text{ eV} - 10 \text{ keV}$ dan neutron cepat dengan energi $>10 \text{ keV}$. Untuk terapi BNCT sendiri jenis neutron yang digunakan adalah neutron termal dan epitermal, neutron termal cocok digunakan pada terapi BNCT untuk kanker kulit karena kemampuan tembusnya hanya mencapai 2-3 cm ke dalam jaringan tubuh, sedangkan neutron epitermal cocok digunakan untuk terapi kanker dengan letak yang lebih dalam karena kemampuan tembusnya yang mampu mencapai 3-6 cm. (John D, et al, 2013). Perbandingan kurva energi fluks neutron termal dan epitermal ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Distribusi fluks neutron termal dan neutron epitermal (IAEA, 2001 ; Kholidah, 2017).

Pada gambar 2.5 dapat dilihat bahwa neutron termal mengalami kenaikan saat memasuki jaringan tubuh sedangkan neutron epitermal mengalami penurunan secara langsung saat mulai memasuki tubuh. Hal ini diakibatkan karena sebagian besar neutron epitermal mengalami penurunan energi dan berubah menjadi neutron termal, sehingga jumlah neutron termal meningkat drastis dan mengalami titik puncak pada kedalaman diantara 2 – 3 cm kedalam jaringan tubuh, jika menginginkan pengobatan dengan hasil yang efektif maka kedalaman kanker harus berada dalam rentang jarak tersebut. Pada penelitian ini letak geometri glioblastoma multiforme yang disimulasikan berada pada kedalaman 2,7 cm - 5,7 cm dari permukaan kulit, sehingga kemungkinan besar akan cukup efektif, karena jumlah neutron termal pada rentang jarak tersebut walaupun mengalami penurunan, namun masih dalam rentang jarak yang memiliki jumlah neutron termal yang cukup tinggi.

Secara umum uji klinis terapi BNCT sendiri terutama untuk pengobatan pada tumor otak glioblastoma multiforme saat ini sering kali menggunakan neutron epitermal yang dibuktikan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Uji Klinis Metode BNCT 1951 – 2005
(Neurosurgery et al., 2014).

Reaktor (Institusi)	Beam	Periode	Agen Boron	Patologi	n	Ketahanan hidup (bulan)
Brookhaven Graphite Research Reactor	Termal	1951-1959	Borax	Highly malignant brain tumour	10	3,2
			Sodium penta-borate iv	Highly malignant brain tumour	9	4,9
			Sodium penta-borate ia	Highly malignant brain tumour	9	3,2
MIT Reactor	Termal	1959-1961	Carboxyl-phenylboronic acid	GBM (n=16)	17	5,7
			Sodium decahydro-carborane	Medullo-blastoma (n=1)		
BMRR	Termal	1959-1961	Sodium pentaborate	Brain tumour	18	2,9
5 Japanese Reactor	Termal	1968-1996	BSH	Malignant brain tumour	na	GBM 21,3 AA 60,4
BMRR	Epitermal	1994-1999	BPA	GBM	53	12,8
MIT Research Reactor	Epitermal	1996-1999	BPA	GBM	20	11,1
High Flux Reactor	Epitermal	1997-2002	BSH	GBM	26	10,4 – 13,2
Finnish Research Reactor 1	Epitermal	1999-2001	BPA	rGBM	30	13,4 (290 mg) 21,9 (450 mg)
		2001-2008	BPA	GBM	20	7
KUR/JRR-4 (Osaka Medical School)	Mixed/Epitermal	1997-Sekarang	BPA + BSH	GBM	21	15,6
			BPA	rGBM	22	10,8
KUR/JRR-4 (Tokushima University)	Mixed/Epitermal	1998-Sekarang	BSH, BSH + BPA	GBM	23	19,5

JRR-4 (University of Tsukuba)	Mixed/Epitermal	1998-2011	BSH, BSH + BPA	GBM	15	25,7
LVR-15 (Czech Republic)	Epitermal	2000-2002	BSH	GBM	5	na
Studsvik Research Reactor	Epitermal	2001-2003	BPA 900	GBM	29	14,2
		2001-2005	BPA 900	rGBM	12	na

Dari tabel tersebut di atas dapat terlihat bahwa neutron epitermal sudah menjadi standar dari jenis tingkat energi neutron yang digunakan untuk pengobatan tumor otak glioblastoma multiforme dengan metode BNCT sejak tahun 1994. *International Atomic Energi Agency* (IAEA) menetapkan standar keluaran neutron dari kolimator untuk memastikan kualitas dari desain kolimator yang sudah dibuat, yang ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

Tabel 2.4 Rekomendasi IAEA untuk keluaran kolimator (IAEA, 2001; Fauziah, 2013).

Parameter	Notasi (Satuan)	Rekomendasi IAEA
Fluks neutron epitermal	$\phi_{epi}(n.cm^{-2}.s^{-1})$	$> 1,0 \times 10^9$
Rasio laju dosis neutron cepat dan fluks neutron epitermal	$\dot{D}_f / \phi_{epi}(Gy.cm^2.n^{-1})$	$< 2,0 \times 10^{-13}$
Rasio laju dosis gamma dan fluks neutron epitermal	$\dot{D}_\gamma / \phi_{epi}(Gy.cm^2.n^{-1})$	$< 2,0 \times 10^{-13}$
Rasio antara fluks termal dan epitermal	ϕ_{th}/ϕ_{epi}	$< 0,05$
Rasio antara arus neutron dan fluks neutron	J/ϕ_{epi}	$< 0,7$

Stabilitas, reliabilitas, intensitas neutron yang tinggi, dan radiasi latar *beam* rendah menjadi keuntungan dalam menggunakan reaktor jenis TRIGA (*Training Research Isotop production / Irradiation General Atomic*) untuk digunakan sebagai sarana fasilitas terapi BNCT (Savolainen, *et.al*, 2013). Standar keluaran neutron dari Reaktor Kartini

sendiri sebenarnya belum memenuhi standar keluaran IAEA, namun masih dapat digunakan untuk terapi BNCT.

Tabel 2.5 keluaran kolimator Reaktor Kartini (Fauziah, 2013).

Parameter	Nilai
Diameter <i>aperture</i> (cm)	1 – 5
$\phi_{epi}(n.cm^{-2}.s^{-1})$	$7,65 \times 10^8$
$\dot{D}_f / \phi_{epi}(Gy.cm^2.n^{-1})$	$1,76 \times 10^{-13}$
$\dot{D}_\gamma / \phi_{epi}(Gy.cm^2.n^{-1})$	$1,32 \times 10^{-13}$
ϕ_{th}/ϕ_{epi}	0,007
J/ϕ_{epi}	0,73

c. Dosis Kanker

Selain boron-10 yang dapat berinteraksi dengan neutron termal pada saat berlangsungnya terapi BNCT, ada beberapa unsur di dalam tubuh yang memiliki kecenderungan untuk berinteraksi dengan neutron termal misalnya unsur hidrogen dan nitrogen. Menurut (Payudan et al., 2016) di dalam penelitian mengenai metode BNCT ada 4 dosis yang perlu untuk diperhatikan yaitu sebagai berikut.

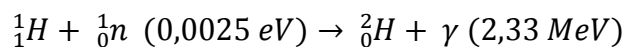
1) Dosis Boron (D_B)

Boron-10 yang telah diinjeksikan ke dalam jaringan kanker memiliki tampang lintang yang cukup besar sebesar 3839 barn (Berlianti, 2013), sehingga akan memiliki peluang yang besar untuk berinteraksi dengan neutron termal. Boron-10 yang berinteraksi dengan neutron akan berubah menjadi boron-11 yang memiliki

waktu paruh 10^{-12} detik. Kemudian boron-11 meluruh menghasilkan litium dan alfa (Badhrees et al., 2015).

2) Dosis Gamma (D_γ)

Dosis gamma terbentuk dari interaksi antara neutron termal dan unsur hidrogen di dalam tubuh yang selanjutnya akan menghasilkan gamma dan hidrogen-2. Hidrogen-2 yang dihasilkan merupakan atom yang tereksitasi, sehingga hidrogen tereksitasi ini tidak memiliki waktu paruh. Interaksi antara neutron dengan unsur hidrogen di dalam tubuh ditunjukkan pada persamaan sebagai berikut.

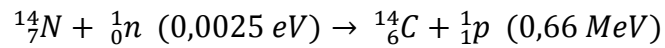


Reaksi akibat neutron termal dengan Hidrogen menghasilkan gamma dengan energi 2,33 MeV (Horiguchi et al., 2015).

3) Dosis Radiasi Proton (D_p)

Interaksi antara neutron dan unsur Nitrogen-14 yang terkandung di dalam tubuh akan menghasilkan Karbon-14 dan proton dengan energi 0,66 MeV (Horiguchi et al., 2015). Karbon-14 sendiri merupakan unsur radioaktif dengan waktu paruh yang panjang (5730 tahun). Karbon-14 yang dihasilkan dari reaksi memiliki aktivitas yang cukup kecil jika dibandingkan dengan batas dosis Karbon-14 di dalam tubuh, yaitu sekitar 3 kBq dengan dosis

ekuivalen sebesar $12 \mu\text{Sv/tahun}$ (Mahmud, 2017), sehingga dalam penelitian ini dapat diabaikan dan dosis yang dihitung pada penelitian ini adalah dosis proton. Interaksi neutron termal dengan hidrogen dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut.



4) Dosis Hamburan Neutron (D_n)

Reaktor Kartini yang digunakan sebagai sarana fasilitas terapi BNCT selain menghasilkan neutron epitermal dan neutron termal juga menghasilkan neutron cepat yang memiliki proton dengan Linier Energi Transfer (LET) yang tinggi juga radikal bebas yang tidak diinginkan diterima oleh tubuh (Setiyadi, 2016). Dosis hamburan neutron dapat didapatkan secara langsung lewat keluaran dari simulasi.

Setelah dijumlahkan dan diakumulasi, dosis total yang diterima oleh tubuh dapat ditemukan dengan persamaan berikut.

$$D_{Total} = w_{Boron}D_{Boron} + w_{Proton}D_{Proton} + w_{\gamma}D_{\gamma} + w_{neutron}D_{neutron}$$

Dengan D_{Boron} , D_{Proton} , D_{γ} dan $D_{neutron}$ adalah dosis yang diterima organ, sedangkan w_{Boron} , w_{Proton} , w_{γ} dan $w_{neutron}$ adalah

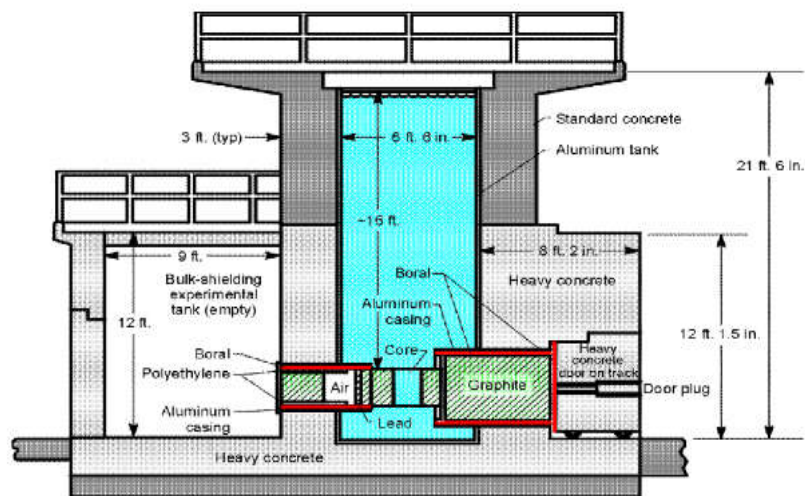
faktor kualitas radiasi atau faktor bobot (Rahmawati & Darmawan, 2015)

3. Reaktor Kartini

Reaktor Kartini adalah salah satu fasilitas yang dimiliki oleh Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA-BATAN) yang terletak di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Reaktor Kartini merupakan reaktor riset jenis TRIGA (*Training Research Isotop production/Irradiation General Atomic*) dengan daya operasi 100 kW yang dimanfaatkan untuk tujuan penelitian, iradiasi, pendidikan, dan pelatihan. Dilansir dari situs resmi milik BATAN, Reaktor Kartini terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut.

a. Teras Reaktor

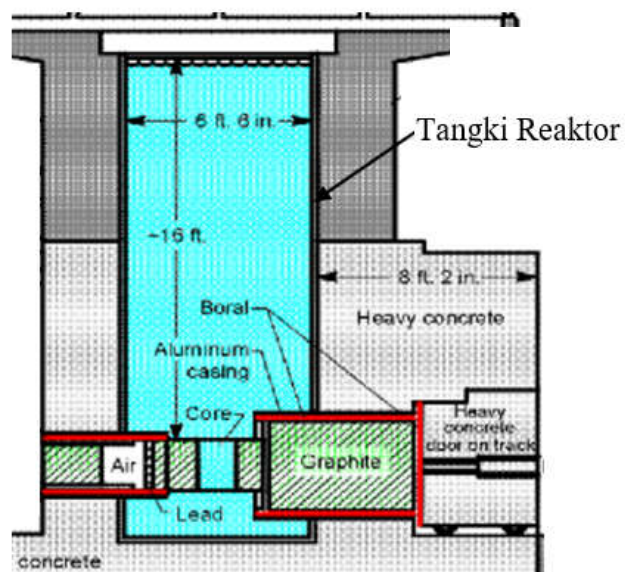
Teras reaktor adalah tempat berlangsungnya reaksi nuklir. Teras reaktor adalah komponen inti dari reaktor. Teras reaktor pada Reaktor Kartini berbentuk silinder dengan diameter 1,09 m dan tinggi 0,58 m yang terdiri dari kisi-kisi yang diisi oleh dudukan elemen-elemen bahan bakar dan batang-batang kendali. Teras reaktor dikelilingi oleh grafit yang berfungsi untuk memantulkan neutron (sebagai reflektor). Bagian terbawah dari reflektor berada pada ketinggian 0,61 m dari dasar tangki, sedangkan ketinggian air dari bagian atas reflektor adalah 4,9 m. Air berfungsi untuk mendinginkan juga sebagai perisai radiasi ke arah vertikal.



Gambar 2.6 Skema Teras Reaktor TRIGA (www.batan.go.id).

b. Tangki Reaktor

Tangki reaktor digunakan sebagai pemisah antara air dengan beton perisai radiasi. Terbuat dari aluminium dengan tebal 6 mm, dan diameter tangki 2 m. Di dalam tangki ini diletakkan teras reaktor beserta kelengkapannya.



Gambar 2.7 Tangki Reaktor Kartini (www.batan.go.id).

c. Reflektor

Reflektor berupa sebuah ring silinder dari grafit dipasang menyelubungi teras reaktor dengan diameter dalam 45,7 cm dengan ketebalan 30,5 cm dan tinggi 55,9 cm. Reflektor berfungsi sebagai reflektor neutron yang dihasilkan dari reaksi bahan bakar. Pada reflektor ini terdapat lekukan atau sumur berbentuk ring yang digunakan untuk fasilitas iradiasi di dalam teras.

d. Kisi Reflektor

Lempeng kisi reaktor bagian atas terbuat dari aluminium berdiameter 49,5 cm dan tebal 19 mm, jarak lubang-lubang kisi dibuat dengan presisi untuk digunakan sebagai lubang tempat tabung bahan bakar disimpan.

e. Rak Putar (*Lazy Susan*)

Fasilitas *Lazy Susan* adalah sebuah fasilitas iradiasi yang mengelilingi teras reaktor yang terletak di bagian luar reflektor. Fasilitas ini memiliki 40 lubang yang dapat digunakan untuk fasilitas iradiasi. Tiap lubang (tabung) memiliki ukuran diameter dalam 55,8 cm dan diameter luar 70 cm.

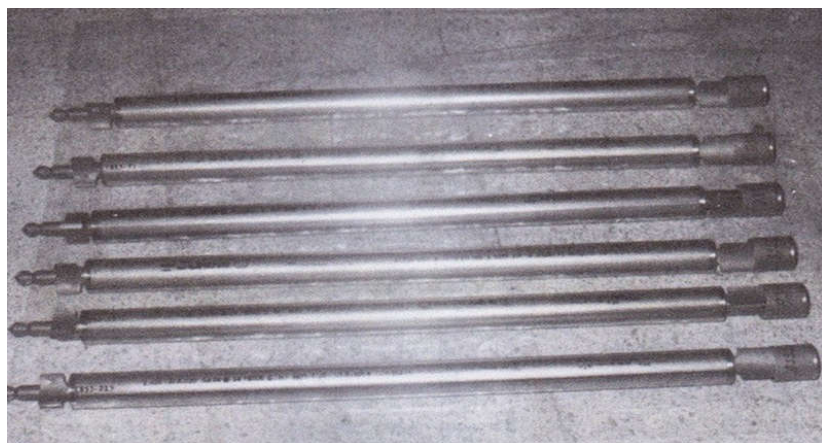
Sampel yang akan diradiasi dimasukkan ke dalam kontainer berukuran panjang 13,6 cm dan diameter luar 2,84 cm. Masing-masing lubang dalam fasilitas ini dapat diisi sampai 2 tabung kontainer.

f. Moderator

Moderator merupakan bahan yang berfungsi sebagai penghambat neutron. Moderator yang digunakan di dalam Reaktor Kartini menggunakan air ringan dan Zirkonium Hidrida (ZrH).

g. Bahan Bakar

Reaktor Kartini menggunakan bahan bakar TRIGA, U-ZrH tipe 104 dan tipe 204 buatan General Atomic. Elemen berbentuk padat campuran homogen bahan bakar Uranium dan moderator Zirkonium Hibrida (U-ZrH). Setiap elemen rata-rata mengandung 8% Uranium U-235 (36-38 gram dari berat 3 kg di setiap elemen) dengan pengkayaan 20%. Reaktor Kartini juga memiliki elemen bahan bakar tiruan yang tersusun dari grafit yang berfungsi sebagai reflektor (menaikkan efisiensi neutron di dalam teras).



Gambar 2.8 Bahan Bakar Reaktor Kartini (www.batan.go.id).

h. Batang Kendali

Batang kendali digunakan untuk mengontrol reaksi di dalam teras Reaktor Kartini. Selain itu batang kendali di Reaktor Kartini juga difungsikan untuk mengoperasikan reaktor */start up*, mengatur tingkat daya, dan mematikan reaktor.

i. Tabung Berkas Neutron (*Beamport*)

Pada Reaktor Kartini terdapat 1 buah *beamport* dengan arah tangensial dan 3 buah *beamport* dengan arah radial. Tabung saluran berkas neutron mempunyai diameter 19,5 cm dengan arah horizontal menembus perisai beton dan tangki reaktor ke permukaan reflektor. Fungsi dari *beamport* ini sendiri untuk menyediakan berkas neutron dan gamma untuk berbagai keperluan eksperimen dan untuk fasilitas iradiasi bahan-bahan yang berukuran relatif besar.

j. Kolom Termal

Kolom termal terbuat dari grafit yang berukuran 1,20 m \times 1,20 m \times 1,60 m yang memanjang dari sisi luar reflektor ke permukaan sebelah dalam pintu tertutup. Reaktor Kartini memiliki dua buah kolom termal yang berfungsi untuk eksperimen iradiasi sampel yang khusus memerlukan radiasi neutron termal.

k. *Pneumatic Transfer System*

Sistem *pneumatic transfer* digunakan untuk keperluan eksperimen iradiasi sampel yang menghasilkan radionuklida berumur pendek. Sampel yang akan diiradiasi dapat dimasukkan ke dalam teras reaktor secara otomatis dan diambil kembali dengan waktu yang singkat.

l. Saluran Tengah

Saluran tengah ini terletak di tengah-tengah tangki reaktor yang memanjang dari atas sampai ke penyangga teras, bentuknya berupa tabung yang berdiameter 2,4 cm dan panjang 600 cm. Di dasar tabung terdapat 4 buah lubang dengan diameter 1,8 cm dan panjang 5,6 cm yang berguna untuk jalan masuk air ke dalam tabung selama reaktor beroperasi. Saluran tengah ini digunakan untuk keperluan iradiasi di daerah yang mempunyai fluks neutron maksimum.

4. Particle And Heavy Ion Transport System (PHITS)

Dewasa ini, kode monte carlo yang digunakan untuk menyimulasikan transportasi partikel khususnya secara tiga dimensi sangat dibutuhkan untuk berbagai macam penelitian seperti teknologi nuklir, teknologi akselerator, fisika medis dan penelitian sinar kosmik. Maka kode-kode semacam itu terus berkembang hingga muncullah PHITS (*Particle and Heavy Ion Transport code System*) yang dikembangkan dari kolaborasi antara beberapa

institusi di Jepang dan Eropa yang dibuat dengan bahasa Fortran, diturunkan dari kombinasi kode NMTC/JAM dan HETC-CYRIC (Sato et al., 2013).

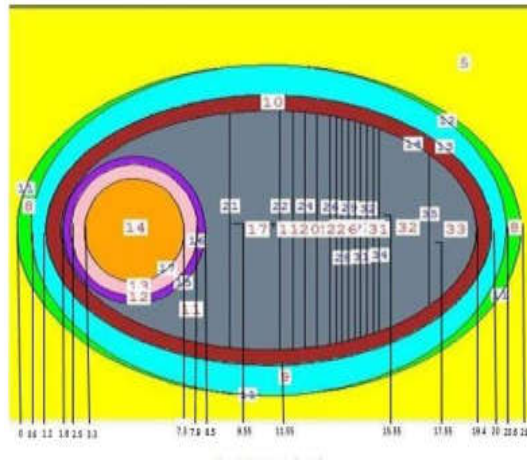
PHITS sendiri dapat digunakan untuk hampir semua partikel seperti neutron, proton, ion berat, foton, dan elektron melalui rentang energi yang luas dengan menggunakan berbagai data model reaksi nuklir. Konfigurasi simulasi harus diatur dengan geometri umum (GG) atau geometri kombinasi (CG) terlebih dahulu yang dapat dibaca oleh PHITS. Geometri tersebut dapat dibuat melalui aplikasi lain terlebih dahulu seperti *Simple Geo* atau *Visual Editor*. Dalam format geometri umum (GG) berbagai besaran seperti deposisi panas, panjang lintasan dan hasil produksi, dan keluarannya dapat dihasilkan dengan adanya fitur “*tally*”. PHITS pun memiliki fungsi untuk menggambar secara dua dimensi atau tiga dimensi dari hasil yang telah dihitung menggunakan fitur grafik bernama ANGEL (Sato et al., 2013).

PHITS memiliki beberapa fitur penting seperti interaksi neutron dengan energi yang rendah, fungsi transportasi pada *beam*, menghitung perpindahan per-atom dan mikro dosis pada fungsi *tally*. Sampai saat ini PHITS telah banyak diaplikasikan untuk berbagai keperluan seperti simulasi perisai radiasi, lintasan partikel di medan magnet, gravitasi, T0-*Choppers*, perhitungan dosis pada tubuh manusia untuk kebutuhan radiologi, masalah fisika medis, model perkiraan kesalahan lunak pada perangkat semi-konduktor, dan terakhir fungsi mikro dosimetri dari PHITS digunakan untuk mengembangkan model komputasi untuk menghitung efektivitas biologis relatif (RBE) (Sato et al., 2013).

B. PENELITIAN YANG RELEVAN

1. Dwi Berlianti (2013) dengan penelitiannya yang berjudul “Analisis Dosis di Organ Kritis pada Terapi Glioblastoma dengan *Boron Neutron Capture Therapy* menggunakan Metode Simulasi MCNP5”. Dalam penelitiannya yang menggunakan kode dari MCNP5, hasil keluarannya mampu mensimulasikan interaksi neutron yang terjadi pada sebuah geometri otak. Konsentrasi boron-10 yang digunakan berkisar antara $25 \mu\text{g}/\text{gram tumor}$ – $35 \mu\text{g}/\text{gram tumor}$ dengan menggunakan variasi arah penyinaran baik lateral, superior dan anteroposterior, namun arah penyinaran lateral tidak dapat digunakan karena letak kanker yang terlalu dalam (> 4 cm dari permukaan kulit) sehingga butuh waktu iradiasi yang terlalu lama. Fluks neutron optimal pada kedalaman 2,4 cm dan dosis radiasi yang diterima langsung oleh kulit tidak mencapai batas toleransi yaitu 3 Gy. Waktu iradiasi yang dibutuhkan untuk arah penyinaran superior adalah 2,609921 jam untuk konsentrasi $25 \mu\text{g}/\text{gram}$, 2,403288 jam untuk konsentrasi $30 \mu\text{g}/\text{gram}$, dan 2,225182 jam untuk konsentrasi $35 \mu\text{g}/\text{gram}$, sedangkan untuk arah penyinaran antero posterior adalah 2,966425 jam untuk konsentrasi $25 \mu\text{g}/\text{gram}$, 2,728228 jam untuk konsentrasi $30 \mu\text{g}/\text{gram}$, dan 2,525709 jam untuk konsentrasi $35 \mu\text{g}/\text{gram}$.
2. Kholidah Hasyim Nur Mahmud (2017) dengan penelitiannya yang berjudul “Analisis Dosis *Boron Neutron Capture Therapy* (BNCT) pada Kanker Otak (Glioblastoma Multiforme) Menggunakan MCNPX-Code dengan

Sumber Neutron dari Kolimator Kolom Termal Reaktor Kartini”. Dalam penelitiannya yang menggunakan simulasi program MCNPX, beliau berhasil menyimulasikan interaksi neutron yang terjadi di dalam sebuah geometri otak berbentuk *ellipsoid* dengan letak kanker otak berada di bagian lobus frontal (dahi), dengan keluaran simulasi berupa fluks neutron, dosis hamburan neutron dan dosis foton yang keluar dari kolimator.



Gambar 2.9. Bentuk geometri otak dan letak kanker dari penelitian kholidah N. Mahmud (Mahmud, 2017).

Data fluks neutron keluaran tersebut kemudian digunakan untuk menghitung dosis yang berasal dari interaksi neutron dengan material di jaringan. Waktu iradiasi yang dibutuhkan adalah 2,79 jam untuk konsentrasi $20 \mu\text{g}/\text{gram}$, 2,78 jam untuk konsentrasi $25 \mu\text{g}/\text{gram}$, 2,77 jam untuk konsentrasi $30 \mu\text{g}/\text{gram}$, dan 2,8 jam untuk konsentrasi $35 \mu\text{g}/\text{gram}$, sehingga didapatkan konsentrasi optimal boron-10 di dalam jaringan adalah $30 \mu\text{g}/\text{gram}$.

3. KERANGKA BERPIKIR

Berdasarkan hasil uraian yang telah diberikan, telah dilakukan penelitian berupa simulasi atau permodelan terapi BNCT pada penyakit kanker otak glioma sub tipe astrositoma grade empat yaitu glioblastoma multiforme menggunakan aplikasi PHITS (*Particle and Heavy Ion Transport code System*) yang disimulasikan pada phantom kepala pria dewasa. Perbedaan dari penelitian-penelitian sebelumnya adalah pada penelitian ini letak kankernya terletak pada bagian lobus temporal (pelipis) karena kebanyakan simulasi metode BNCT pada kanker otak sebelumnya menggunakan bagian lobus frontal (dahi). Bagian lobus frontal merupakan bagian otak yang paling sering terjadi penyakit glioblastoma, namun dengan volume dan massa pada lobus frontal yang paling besar dan cukup mendominasi dibandingkan bagian lainnya, hal itu cukup wajar terjadi. Pada lobus temporal persentase kejadian glioblastoma multiforme menduduki peringkat kedua setelah lobus frontal walaupun ukurannya lebih kecil (26,5% pada lobus temporal dibanding 27,6 % pada lobus frontal (Cedar Sinai Medical Center, 2018)). Letak penyinaran iradiasi dilakukan dari bagian samping sehingga dapat meminimalkan kemungkinan kerusakan organ kritis jika letak penyinaran dilakukan dari bagian depan. Ukuran besar inti kanker $14,14 \text{ cm}^3$ atau berdiameter 3 cm dengan kedalaman kanker dari permukaan kulit 2,7 cm – 5,7 cm. Fluks keluaran konseptual kolimator dari Reaktor Kartini digunakan dalam penelitian ini dengan waktu yang ditentukan sehingga didapatkan dosis optimal untuk terapi BNCT tersebut untuk membunuh jaringan kanker.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2018 sampai awal bulan Juli 2018. Proses pembuatan kode untuk simulasi program PHITS berupa geometri kepala manusia dan geometri material kanker dilaksanakan di ruang laboratorium komputer Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta serta di ruang engineering Pusat Sains dan Teknologi Akselerator Badan Tenaga Nuklir Nasional (PSTA-BATAN) Yogyakarta.

B. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah konsentrasi boron-10 yaitu 20 μgram boron/gram kanker, 30 μgram boron/gram kanker, 40 μgram boron/gram kanker, 50 μgram boron/gram kanker, 60 μgram boron/gram kanker, 70 μgram boron/gram kanker, 80 μgram boron/gram kanker, 90 μgram boron/gram kanker, dan 100 μgram boron/gram kanker.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai dosis hamburan neutron dan nilai fluks neutron untuk setiap konsentrasi boron pada jaringan kulit, tengkorak, jaringan lunak, Otak, PTV (Planning Target

Volume), CTV (Clinical Target Volume), dan GTV (Gross Target Volume).

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah nilai fluks neutron dan laju dosis gamma dari sumber keluaran kolimator reaktor kartini

C. Instrumen Penelitian

1. Perangkat Keras

Penelitian ini dilakukan dengan menjalankan serangkaian simulasi yang dijalankan menggunakan seperangkat Laptop dengan spesifikasi:

- a. Prosesor : Intel® Core™ i5-M540 CPU 2,53 GHz
- b. RAM : 4 GB
- c. Sistem Operasi : Windows 7, 64-bit
- d. Merk Laptop : Hewlet Packard
- e. Seri : Pavilion dv3

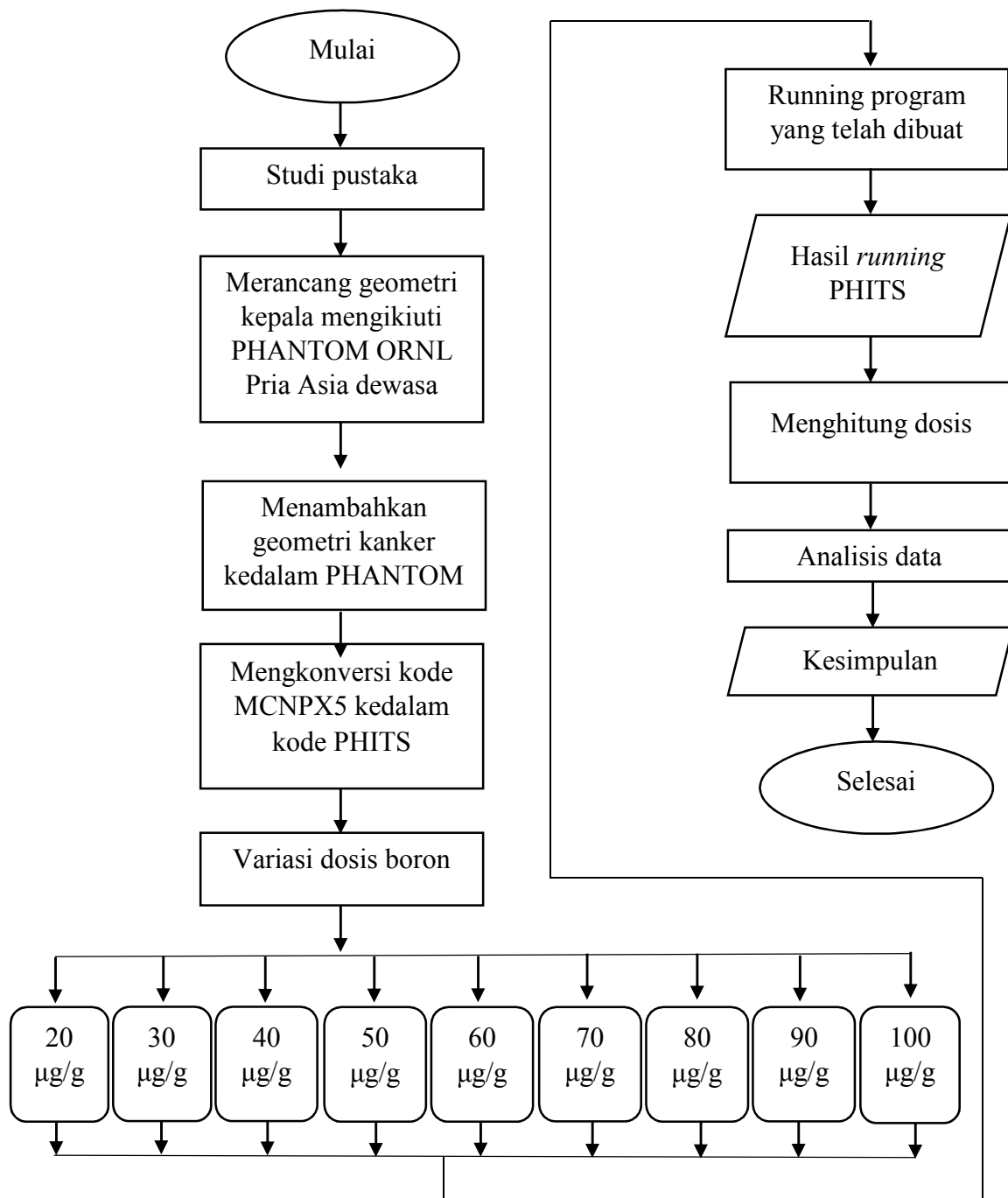
2. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan:

- a. Notepad++ v7.3.2
- b. Monte Carlo N-Particle version X (MCNPX)
- c. Visual Editor X22S
- d. Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS)
- e. Microsoft excel 2013

D. Desain Penelitian

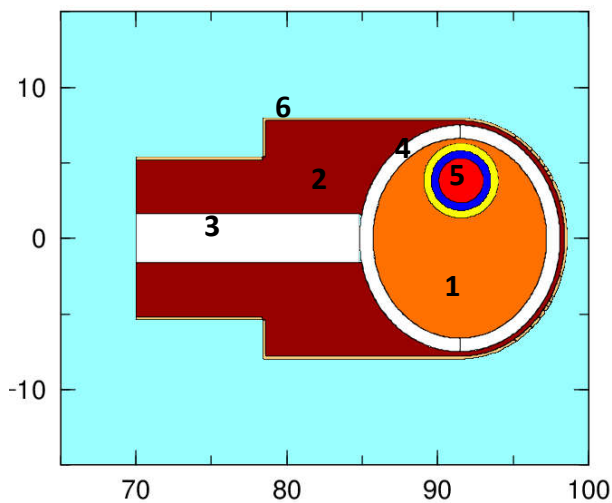
Perumusan desain penelitian digambarkan dalam diagram alir (flow chart) yang ditunjukkan sebagai berikut :



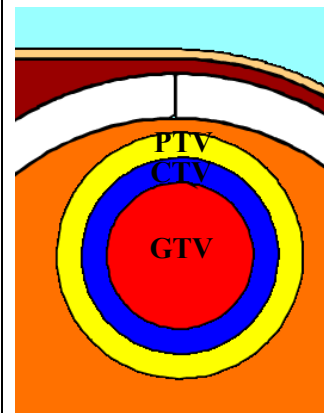
Gambar 3.1 Desain Penelitian.

E. Model Organ

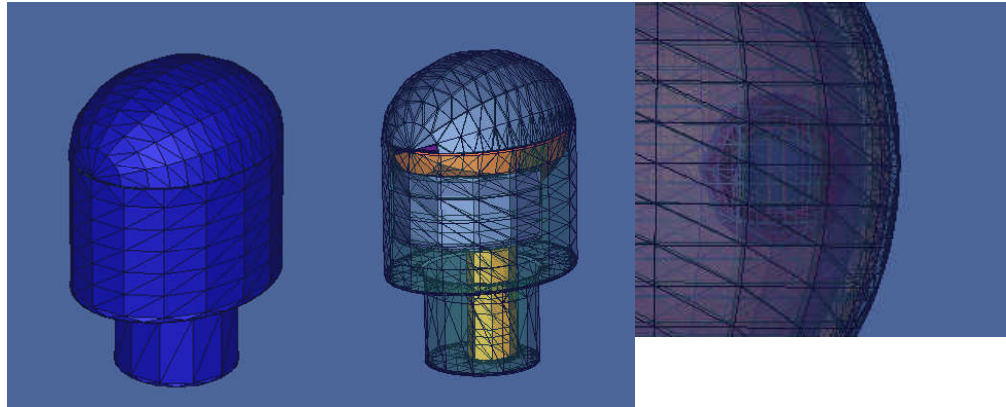
Geometri organ otak yang digunakan didasarkan dari Phantom ORNL (*Oak Ridge National Laboratory*) untuk ukuran Pria Dewasa. Jenis kanker otak yang dipilih adalah kanker otak glioma sub tipe astrositoma grade/stadium empat yaitu glioblastoma multiforme dengan letak kanker berada di lobus temporal bagian kiri (pelipis), dengan ukuran diameter kanker sebesar 3 cm. Geometri phantom otak dan organ sekitarnya serta sel kanker telah dirancang menggunakan program MCNPX yang ditampilkan dalam Visual Editor (VISED) sebagai berikut.



Gambar 3.2. Geometri phantom organ secara dua dimensi tampak dari belakang, (1) Otak (2) jaringan lunak (3) tulang belakang (4) tengkorak (5) sel kanker (6) kulit.



Gambar 3.3. Geometri sel kanker terdiri dari 3 jaringan PTV, CTV, GTV.



Gambar 3.4.
Geometri phantom
kepala secara tiga
dimensi.

Gambar 3.5.
Geometri phantom
kepala secara tiga
dimensi mode
transparan.

Gambar 3.6. Geometri sel
kanker secara tiga dimensi
tampak dekat.

Geometri otak dibangun dari bentuk utuh ellipsoid dengan persamaan matematika sebagai berikut (Cristy & Eckerman, 1996).

$$\left(\frac{x}{a}\right)^2 + \left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{z-[C_r+C_{H1}]}{c}\right)^2 \leq 1$$

Tabel 3.1. Nilai a , b , c , pada phantom otak untuk setiap umur (Cristy & Eckerman, 1996).

Phantom	a	b	c	Volume (cm^3)
Bayi	4,14	5,40	3,61	338
Usia 1	5,63	7,34	4,91	850
Usia 5	6,34	8,26	5,52	1210
Usia 10	6,51	8,48	5,67	1310
15-Wanita	6,58	8,57	5,73	1350
Dewasa				
Pria	6,60	8,60	5,75	1370
Dewasa				

Sel kanker terakumulasi penuh di GTV (Ardana & Sardjono, 2017).

Geometri sel kanker disajikan dalam persamaan berikut.

$$(x + 9)^2 + (y)^2 + (z - 50)^2 - r^2 = 0$$

Dimana $r = 1,5$ cm untuk GTV, $r = 2$ cm untuk CTV, dan $r = 2,5$ cm untuk PTV.

F. Massa Jenis Organ

Organ pada phantom terdiri dari 4 jenis material yaitu otak, tulang, kulit, dan jaringan lunak. Untuk organ kanker sendiri terdiri dari 3 bagian yaitu PTV, CTV, dan GTV. Data massa jenis dari organ yang digunakan dalam penelitian ini yang didapatkan melalui website National Institute of Standards and Technology (NIST) atau publikasi Pasific Northwest National Laboratory (PNNL) adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 Data massa jenis untuk setiap organ (NIST, 2018).

Organ	Massa Jenis (g/cm^3)
Kulit	1,1
Jaringan lunak	1,0
Otak	1,03
Tulang tengkorak	1,85
PTV	1,03
CTV	1,20
GTV	1,20

G. Fraksi Massa Unsur Penyusun

Fraksi massa komponen unsur-unsur penyusun jaringan yang akan diiradiasi oleh neutron termal sangat berpengaruh karena masing-masing unsur memiliki nilai tampang lintang dengan neutron yang berbeda-beda, sehingga dosis di jaringan pun akan bervariasi (Siwi, 2013). Berikut adalah daftar fraksi massa unsur-unsur untuk material phantom yang akan digunakan untuk simulasi pada penelitian ini yang didapatkan dari laporan Commission on Radiological Protection (ICRP) pada tahun 2011.

Tabel 3.3. Fraksi massa tiap unsur pada jaringan otak, jaringan lunak, jaringan kulit, dan tengkorak.

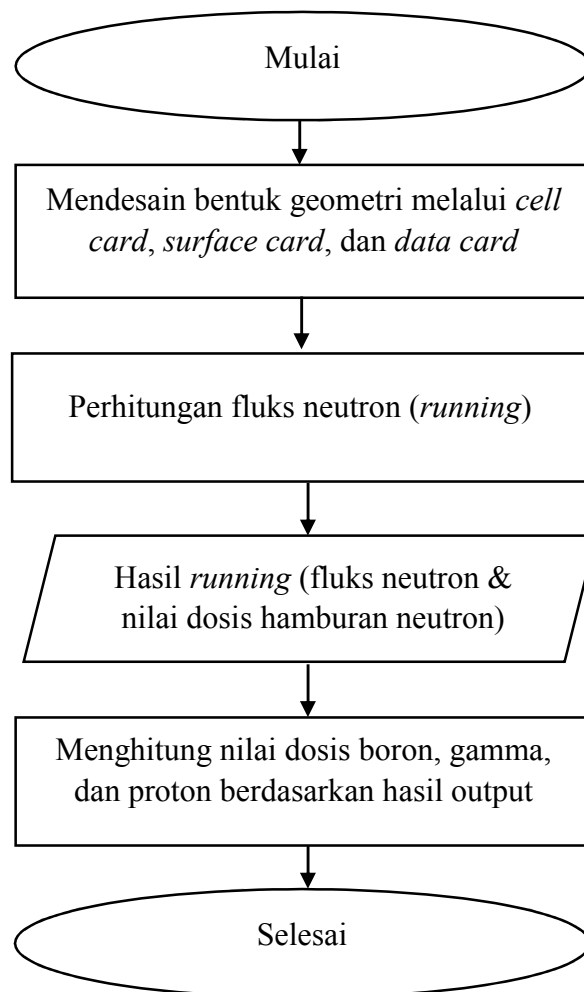
Unsur	Kode	Fraksi Massa			
		Otak & PTV	Jaringan Lunak	Kulit	Tengkorak
H	1001	0,110667	0,104472	0,100588	0,047324
C	6012	0,12542	0,23219	0,22825	0,14433
N	7014	0,01328	0,02488	0,04642	0,04199
O	8016	0,737723	0,630238	0,619002	0,446096
Na	11023	0,00184	0,00113	0,00007	-
Mg	12024	0,00015	0,00013	0,00006	0,0022
P	15031	0,00354	0,00133	0,00033	0,10497
S	16032	0,00177	0,00199	0,00159	0,00315
Cl	17035	0,00236	0,00134	0,00267	-
K	19039	0,0031	0,00199	0,00085	-
Ca	20040	0,00009	0,00023	0,00015	0,20993
Fe	26056	0,00005	0,00005	0,00001	-
Zn	30065	0,00001	0,00003	0,00001	0,00001

Tabel 3.4. Komponen utama penyusun jaringan kanker (Siwi, 2013).

Unsur	Kode dalam program	Fraksi Massa
H	1001	0,099
C	6012	0,269
N	7014	0,045
O	8016	0,569
P	15031	0,018

H. Algoritma PHITS

Algoritma komputasi menggunakan PHITS yaitu sebagai berikut.



Gambar 3.7 Algoritma Simulasi PHITS.

Program PHITS terdiri dari beberapa input yang dikenal dengan *section*, yang dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 3.5. Input pada PHITS.

Section	Keterangan
[title]	Judul
[parameters]	Various type of parameters
[source]	Definisi source
[material]	Definisi material
[surface]	Definisi surface
[cell]	Definisi cell
[transform]	Definisi koordinat transformasi
[t-track]	Definisi track length tally
[t-cross]	Definisi surface crossing tally
[t-heat]	Definisi heat developing tally
[t-deposit]	Definisi tally definition
[end]	Bagian akhir dari masukan file

1. *[title] section*

Merupakan judul program yang dapat diubah sesuai judul yang kita berikan.

2. *[parameters] section*

Merupakan mode perhitungan yang akan digunakan. Dimana dalam penelitian ini pilihan yang dapat digunakan sebagai berikut.

Tabel 3.6. Parameter pada PHITS.

Parameter	Nilai	Keterangan
Icintl	(D=0)	Kontrol dasar
	=0	Perhitungan normal PHITS
	=8	Keluaran geometri xyz mesh tally (keluaran berupa grafik)
	=10	Keluaran geometri reg mesh tally (keluaran berupa grafik)
	=11	Keluaran 3D [t-3dshow] tally (keluaran berupa grafik)
Maxcas	(D=10)	Jumlah history per 1 batch. Jumlah maksimum 2147483647
Maxbch	(D=10)	Jumlah batch. Jumlah maksimum 2147483647
Maxbnk	(D=10000)	Ukuran dari bank array

3. *[source] section*

Merupakan bentuk dari sumber.

Tabel 3.7. Tipe *source* pada PHITS.

Tipe source	Keterangan
s-type = 1	Silinder
s-type = 4	Silinder dengan distribusi energi
s-type = 2	Persegi panjang
s-type = 5	Persegi panjang dengan distribusi energi

4. *[material] section*

Merupakan komposisi dalam material yang kita buat.

```
[ M a t e r i a l ]
Mm  nucleus  density      nucleus  density
     nucleus  density      nucleus  density
Mm
keyword=value .....
nucleus  density      nucleus  density
nucleus  density      nucleus  density
MTm  S(a,b) identifier ...
Mm
.....
.....
```

Gambar 3.8. Bentuk input material pada PHITS.

5. *[surface] section*

Surface section terbagi dalam beberapa bagian yaitu *surface number*, *transform number*, *surface symbol*, dan *surface definition*.

```
[ S u r f a c e ]
surface number      transform number      surface symbol      surface definition
```

Gambar 3.9. Input *surface section* pada PHITS.

Surface number merupakan batas atau geometri dari cell yang kita buat. Nomor *surface* terbatas dari 1 sampai dengan 999999. *Transform number* merupakan transformasi dari *surface* tersebut, apabila tidak ada transformasi, maka dapat dikosongkan. Jika ada maka digunakan format transformasi TRn (dimana n merupakan nomor transformasi) pada *[transform] section*. *Surface symbol* mendeskripsikan bentuk geometri yang kita buat apakah itu bulat, kotak, tabung dan sebagainya. *Surface definition* dapat berupa 1~15 input tergantung dari *surface* yang kita buat.

6. *[cell] section*

Cell section akan berhubungan dengan *section* sebelumnya yaitu *material section* dan *surface section*. Terdiri dari beberapa bagian input yaitu sebagai berikut.

- a. ***Cell number*** : nomor sel dibuat dengan angka yang bebas dengan syarat tidak ada nomor yang sama antara sel yang satu dengan sel yang lain. Kita dapat menggunakan angka 1 sampai dengan 999999.
- b. ***Material number*** : menginformasikan material yang digunakan dalam suatu geometri yang kita buat. Untuk *void* kita dapat menggunakan angka -1 (bagian diluar batas geometri).
- d. ***Material density*** : merupakan informasi dari massa jenis sel tersebut. Apabila *void* atau di luar batas geometri maka *material density* dapat dikosongkan atau dilewati. Apabila *material density* memiliki nilai positif maka artinya adalah *particle density* dengan satuan [10^{24} atom/cm³], sedangkan apabila bernilai negatif maka berarti *mass density* dengan satuan [g/cm³].
- e. ***Cell definition***: merupakan geometri cell yang didefinisikan dari nomor surface di *[surface] section* dan operator Boolean.
- f. ***Cell parameter***: menggunakan format kata kunci. Dimana format kata kunci terbagi sebagai berikut, VOL(volume), TMP(temperatur), TRCL(transformasi), U(universe), LAT(lattice), dan FILL (Niita et al., 2015).

[C e l l]				
cell number	mat. number	mat. density	cell def.	cell parameter

Gambar 3.10. Input *cell section* pada PHITS.

I. Teknik Analisis Data

Setelah melakukan running program yang telah dibuat, selanjutnya yang harus dilakukan adalah analisis data dan perhitungan dosis. Perhitungan dosis dari BNCT terdiri dari empat bagian sesuai dengan interaksi yang terjadi. Komponen dosis diantaranya dosis boron, dosis gamma, dosis proton dan dosis hamburan neutron, yang kemudian dapat dilanjutkan dengan melakukan perhitungan laju dosis total (Sardjono et al. 2016). Keluaran PHITS yang dapat digunakan langsung adalah dosis hamburan neutron.

Laju dari komponen dosis yang akan dihitung secara manual yaitu sebagai berikut.

1. Laju Dosis Gamma

Reaksi antara neutron termal dan hidrogen-1 akan menghasilkan gamma berenergi 2,33 MeV. Laju pembentukan gamma dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\ddot{R} = \emptyset N_{H-jaringan} \sigma_H$$

dengan :

\ddot{R} : laju pembentukan deuterium (hidrogen-2) atau laju pelepasan gamma (foton/kg.s=Bq/kg).

\emptyset : fluks neutron termal (neutron.cm⁻².detik⁻¹).

$N_{H-jaringan}$: jumlah atom hidrogen per kg jaringan (atom/kg).

σ_H :ampang lintang serapan neutron termal terhadap hidrogen (cm^2).

Fraksi dosis serap gamma merupakan koefisien yang menunjukkan dosis yang diterima jaringan dari energi radiasi gamma tertentu. Penentuan dosis gamma ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

$$D\gamma = \dot{R}\Delta\varphi$$

dengan :

\dot{R} : laju pembentukan deuterium (hidrogen-2) atau laju pelepasan gamma (foton/kg.s=Bq/kg).

Δ : koefisien laju dosis serap atau aktivitas spesifik

$$(1,6 \times 10^{-13} \times \frac{2,33MeV}{\gamma} = 3,568 \times 10^{-13} \frac{Gy/s}{Bq/kg}).$$

φ : fraksi dosis serap gamma.

2. Laju Dosis Boron

Laju dosis boron diperoleh dari hasil reaksi neutron termal dengan boron-10, perhitungan laju dosis boron menggunakan persamaan berikut,

$$D_{boron} = \frac{\phi N_{B-jaringan} \sigma_{a,B} \times Q \times 1,6 \times 10^{-13} J/MeV}{1 \frac{J/kg}{Gy}}$$

dengan :

D_{boron} : laju dosis boron (Gy/detik).

ϕ : fluks neutron termal (neutron. cm^2 . $detik^{-1}$).

$N_{B-jaringan}$: jumlah atom boron per kg jaringan (atom/kg jaringan).

σ_{a_1B} :ampang lintang mikroskopik serapan boron-10 (cm^2).

Q : energi partikel (MeV).

3. Laju Dosis Proton

Laju dosis proton berasal dari tangkapan neutron termal dengan nitrogen-14, yang menghasilkan karbon-14 dan proton berenergi 0,66 MeV. Laju dosis proton ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\dot{D}_{proton} = \frac{\phi N_{N-jaringan} \sigma_{a,N} \times Q \times 1,6 \times 10^{-13} J/MeV}{1 \frac{J/kg}{Gy}}$$

dengan :

\dot{D}_{proton} : laju dosis proton (Gy/detik).

ϕ : fluks neutron termal (neutron.cm².detik⁻¹).

$N_{N-jaringan}$: jumlah atom nitrogen per kg jaringan (atom/kg jaringan).

σ_{a_1N} : tampang lintang mikroskopik serapan nitrogen (cm²).

Q : energi partikel (MeV).

4. Laju Dosis Total

Dosis total pada penelitian ini memiliki prinsip yang sama dengan dosis ekuivalen pada proteksi radiasi. Dosis ekuivalen merupakan sebaran dosis yang menyatakan besarnya tingkat kerusakan pada jaringan tubuh akibat terserapnya sejumlah energi radiasi dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dosis total didapatkan dengan mengalikan dosis serap dengan faktor bobot radiasi. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan dosis total pada BNCT mengikuti persamaan berikut (Sardjono et al., 2016).

$$\dot{D}_{total} = (w_{boron} \times \dot{D}_{boron}) + (w_p \times \dot{D}_{proton}) + (w_n \times \dot{D}_{neutron}) + (w_\gamma \times \dot{D}_\gamma)$$

Keterangan :

w_{boron}	:	Faktor kualitas radiasi dari boron.
w_{proton}	:	Faktor kualitas radiasi dari proton.
$w_{neutron}$:	Faktor kualitas radiasi dari hamburan neutron.
w_{γ}	:	Faktor kualitas radiasi dari gamma.

Dosis total dari masing-masing jenis radiasi memiliki kontribusi yang berbeda disebabkan karena faktor RBE, CBE dan *dose reduction factor*. Penentuan nilai faktor kualitas radiasi pada BNCT dilakukan setelah mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi efek biologis. Efek biologis memiliki perbedaan akibat sifat suatu jaringan terhadap materi berbeda. Pada perhitungan dosis BNCT, laju dosis serap dikalikan dengan faktor kualitas untuk mendapatkan dosis BNCT. Dosis ini bisa dikatakan sebagai dosis isoeftif (menunjukkan hubungan antara dosis serap dengan efek biologis yang diterima oleh jaringan) dengan satuan Gy (Saurwein & Moss, 2009). Faktor kualitas radiasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 3.5. Faktor Kualitas Radiasi (Ardana & Sardjono, 2017).

Sumber radiasi	Faktor bobot radiasi
Boron	3,8 (tumor)
	1,3 (jaringan sehat)
Proton	3,2
Neutron hamburan	3,2
Gamma	1

Untuk mengukur waktu iradiasi yang digunakan dalam BNCT, dapat ditentukan dengan membandingkan antara dosis minimum perusak pada jaringan kanker dengan laju dosis serap total pada kanker. Yang dalam hal ini dosis minimum perusak jaringan kanker ditentukan sebesar 50 Gy. Besarnya waktu iradiasi dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{waktu iradiasi (s)} = \frac{\text{dosis minimum perusak jaringan kanker (Gy)}}{\text{laju dosis total } (\frac{\text{Gy}}{\text{s}})}$$

hasil dosis serap total pada jaringan yang didapatkan dari simulasi yang telah dilakukan tidak boleh melebihi batas toleransi dosis yang dapat diterima oleh jaringan. Perhitungan dosis serap menggunakan persamaan berikut.

$$\text{dosis (Gy)} = \text{laju dosis total (Gy/s)} \times \text{waktu iradiasi (s)}$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini adalah penelitian dengan metode simulasi atau permodelan mengenai terapi kanker otak glioblastoma multiforme dengan metode BNCT (*Boron Neutron Capture Therapy*). Simulasi dilakukan dengan program PHITS (*Particle and Heavy Ion Transport-code System*) dengan menggunakan sumber neutron keluaran dari kolimator *beamport* tembus radial Reaktor Kartini yang telah diteliti oleh Arrazaqi (2013) dengan perbaikan fluks neutron kontinu oleh Zailani (2017). Fluks neutron kontinu digunakan agar perhitungan mendekati keadaan yang disarankan untuk terapi BNCT. Fluks neutron kontinu yang digunakan memiliki komponen neutron termal, epitermal, dan cepat.

Program simulasi diawali dengan membuat desain geometri *phantom* berbentuk kepala yang berasal dari modifikasi Phantom tubuh yang bersumber dari MIRD- *Oak Ridge National Laboratory*. *Phantom* kepala terdiri dari beberapa organ yang akan disimulasikan diantaranya adalah organ kulit, tengkorak, tulang leher, otak, jaringan kanker, dan tiga bagian target iradiasi termasuk sel kanker (PTV, CTV, GTV). *Gross Target Volume* (GTV) sendiri merupakan pusat sel kanker sedangkan *Clinical Target Volume* (CTV) dan *Planning Target Volume* (PTV) merupakan volume sel yang kemungkinan terkena dampak dari terapi. Pada simulasi yang telah dibuat, diasumsikan GTV memiliki diameter 3 cm, CTV mengelilingi GTV

dengan tebal 1 cm yang diasumsikan memiliki perbandingan konsentrasi boron 50% dari konsentrasi boron yang digunakan pada GTV, lalu PTV mengelilingi CTV dengan tebal 1 cm yang diasumsikan memiliki perbandingan konsentrasi boron 10% dari konsentrasi boron-10 yang digunakan pada GTV. Perbedaan konsentrasi boron tersebut disesuaikan dengan asumsi perbandingan persebaran sel kanker pada GTV, CTV, dan PTV dengan asumsi perbandingan 10:5:1, sedangkan untuk kemungkinan terdapatnya konsentrasi boron pada jaringan sehat seperti otak, tengkorak, dan kulit diasumsikan memiliki konsentrasi boron dengan perbandingan maksimal 10 % dari konsentrasi boron yang dimiliki oleh jaringan GTV (Heber, 2014).

Material acuan penyusun untuk jaringan sehat didapatkan melalui website National Institute of Standards and Technology (NIST) atau publikasi Pasific Northwest National Laboratory (PNNL). Data jaringan sehat yang diambil dalam penelitian ini yaitu jaringan otak, jaringan lunak, dan jaringan tulang, serta jaringan kulit. Material tersebut terdiri dari atom Hidrogen (H), Karbon (C), Nitrogen (N), Oksigen (O), Natrium (Na), Magnesium (Mg), Fosfor (P), Sulfur (S), Klor (Cl), Kalium (K), Kalsium (Ca), Besi (Fe), dan Zinc/seng (Zn). Dimana masing-masing organ memiliki persentase fraksi massa yang berbeda-beda. Sedangkan untuk acuan material penyusun jaringan kanker didapatkan dari data penelitian yang dilakukan oleh Dwi Berlianti Siwi pada tahun 2013. Jaringan kanker terdiri dari atom Hidrogen (H), Karbon (C), Nitrogen (N), Oksigen (O), dan Fosfor (P) dengan

catatan material kanker GTV sama dengan CTV sedangkan material penyusun PTV sama dengan jaringan sehat otak.

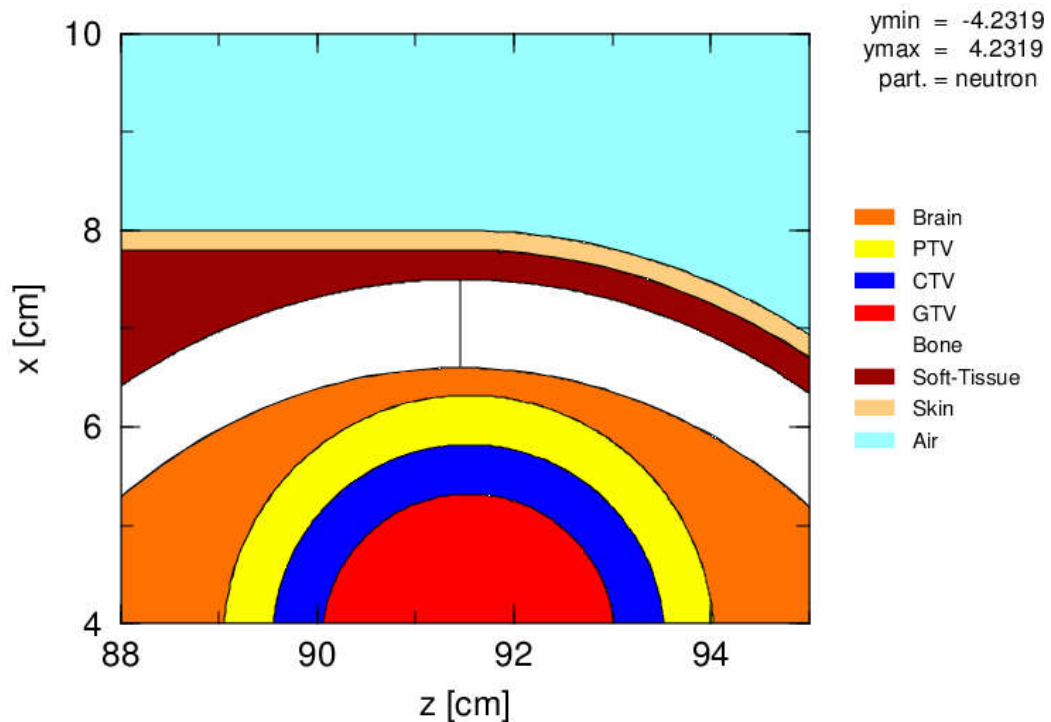
Semua jaringan sehat termasuk kanker pada awalnya sudah memiliki susunan fraksi massa setiap atom yang nilainya tetap. Di dalam metode terapi BNCT, boron diinjeksikan kedalam jaringan-jaringan tersebut. Agar persentase massa tiap atom pada jaringan dapat disesuaikan dengan tambahan kehadiran atom boron tersebut, maka perlu dilakukan perhitungan fraksi massa ulang. Perhitungan fraksi massa boron pada jaringan menggunakan persamaan berikut.

$$Fraksi\ massa_{Boron-10} = \frac{massa_{Boron-10}}{massa_{Boron-10} + massa_{jaringan}}$$

Setelah mendapatkan nilai fraksi massa boron pada setiap jaringan, maka dilakukan perbandingan persentase terhadap fraksi massa acuan pada setiap jaringan yang disimulasikan. Sehingga diperoleh nilai fraksi massa baru dengan total fraksi massa pada setiap jaringan tersebut sama dengan 1. Perhitungan fraksi massa dilakukan pada setiap variasi konsentrasi boron yang digunakan dalam penelitian ini.

Phantom kepala yang dibuat adalah phantom untuk ukuran kepala laki-laki dewasa dengan diameter 16 cm. Gambar 3.2 adalah tampilan geometri Phantom secara dua dimensi dilihat dari arah belakang kepala. Geometri kanker dibuat berbentuk bola dengan tiga lapisan (GTV, CTV, PTV) yang terletak dibagian lobus temporalis cerebrum otak bagian kiri

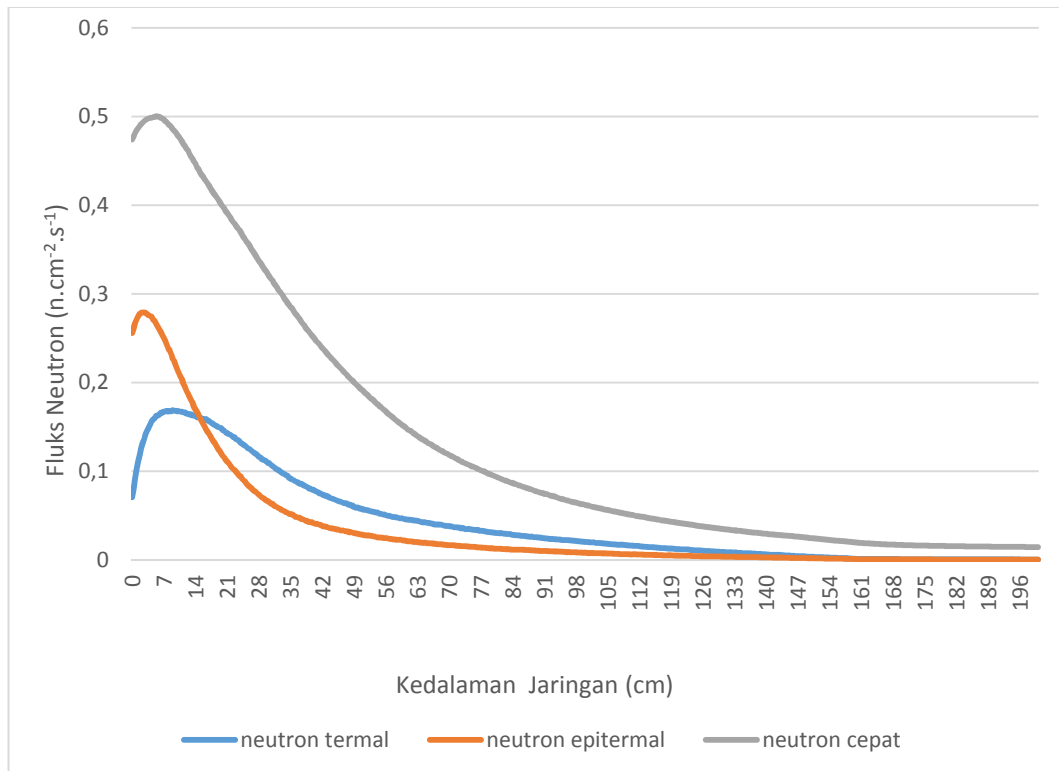
(bagian pelipis). Sel kanker GTV berada pada kedalaman 2,7 cm dari permukaan kulit dibuktikan pada gambar berikut.



Gambar 4.1. Jarak organ kanker dengan permukaan kulit sebesar 2,7 cm.

Pada penelitian ini digunakan 9 variasi konsentrasi boron yaitu sebesar 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, dan 100 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker. Pada BNCT batas maksimal pemberian boron hanya sampai 150 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker, diatas konsentrasi tersebut maka boron akan bersifat racun. Hal ini dikarenakan boron sudah terlebih dahulu ada di dalam tubuh misalnya kandungan unsur boron pada hati dengan 2,3 $\mu\text{g/g}$, limpa dengan 2,6 $\mu\text{g/g}$ lalu jantung dengan 28 $\mu\text{g/g}$, selain itu asupan makanan kita sehari-hari kemungkinan juga ada yang mengandung boron yang kita tidak dapat pastikan berapa jumlah kandungannya.

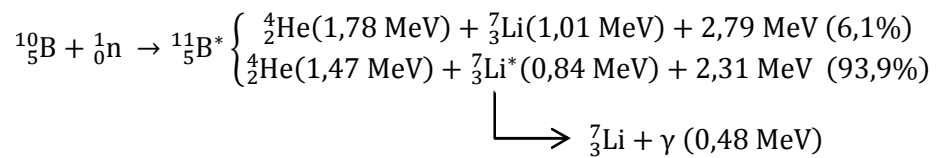
Hasil keluaran simulasi ini adalah jumlah dosis hamburan neutron serta fluks neutron perkedalaman jaringan yang ditembus oleh tembakan neutron dari kolimator. Grafik pada gambar 4.2 menunjukkan hasil keluaran fluks neutron dari simulasi PHITS yang telah dilakukan.



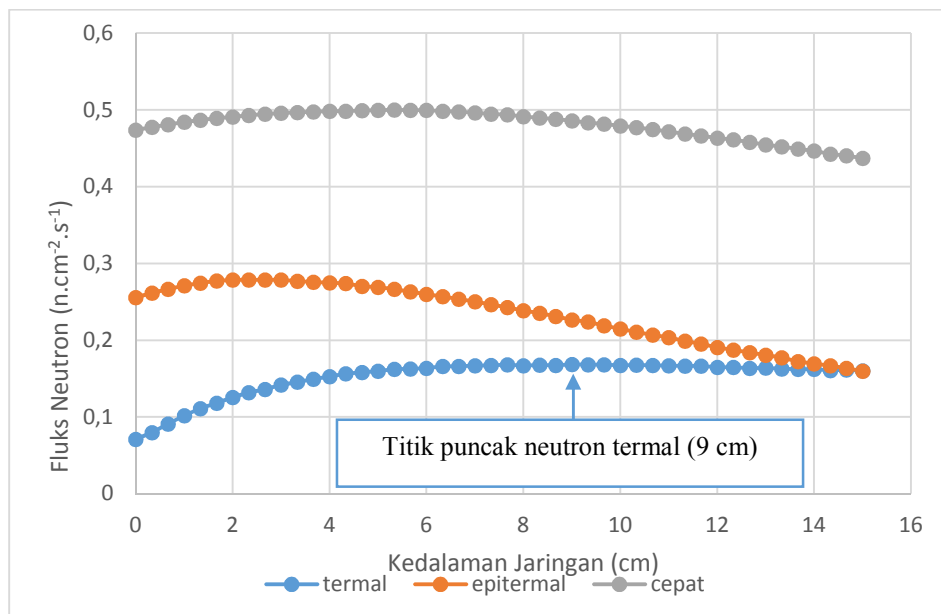
Gambar 4.2. karakteristik fluks neutron pada kedalaman jaringan untuk konsentrasi 100 $\mu\text{g/g}$.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat hasil simulasi menunjukkan bahwa neutron termal mengalami kenaikan saat memasuki jaringan tubuh sedangkan neutron epitermal mengalami penurunan saat mulai memasuki tubuh. Hal ini diakibatkan karena sebagian besar neutron epitermal mengalami penurunan energi karena termoderasi saat melewati jaringan tubuh dan berubah menjadi neutron termal, sehingga jumlah neutron termal meningkat drastis dan

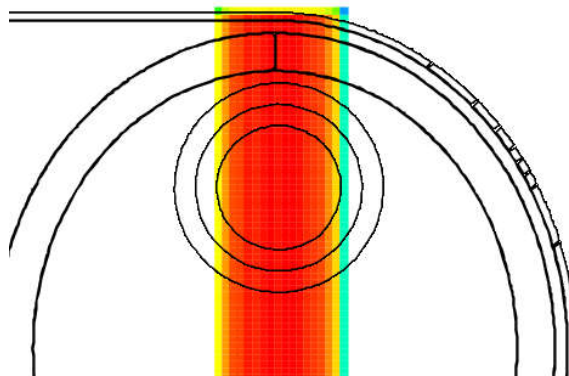
mengalami titik puncak pada kedalaman 9 cm kedalam jaringan tubuh. Pada penelitian ini letak geometri glioblastoma multiforme yang disimulasikan berada pada kedalaman 2,7 cm - 5,7 cm dari permukaan kulit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa neutron termal di titik kedalaman sel kanker sedang mengalami peningkatan dikarenakan termoderasinya neutron epitermal dan neutron cepat. Pada terapi BNCT neutron termal sangat dibutuhkan karena akan berinteraksi dengan atom boron-10 yang sudah diinjeksikan kedalam sel kanker seperti reaksi dibawah.



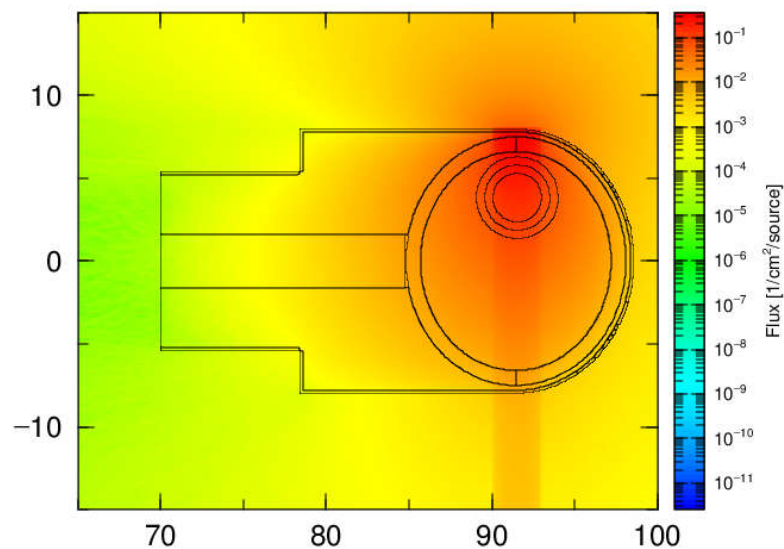
Gambar 4.3 berikut berisi grafik lebih rinci saat neutron termal berada pada titik puncak.



Gambar 4.3. Titik puncak fluks neutron pada kedalaman jaringan untuk konsentrasi 100 µg/g.



Gambar 4.4. jalur tembakan neutron pada *phantom* kepala



Gambar 4.5. jejak fluks neutron pada *phantom* kepala untuk konsentrasi 100 $\mu\text{g/g}$

Nilai dosis hamburan neutron pada penelitian ini didapatkan secara langsung melalui data output dari simulasi seperti hasil visualisasinya pada gambar 4.5, sedangkan nilai dosis boron, proton dan gamma didapatkan melalui perhitungan yang bersumber dari data output fluks neutron perkedalaman jaringan . Laju dosis boron berasal dari hasil reaksi neutron termal dengan boron-10, laju dosis proton berasal dari hasil reaksi antara

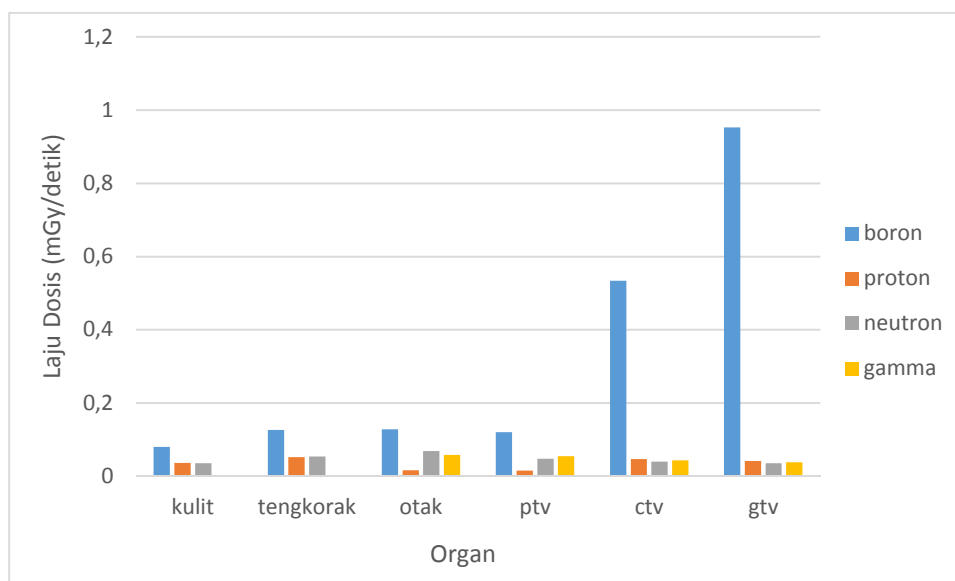
neutron termal dengan nitrogen-14, sementara laju dosis gamma berasal dari hasil reaksi neutron termal dengan hidrogen-1. Contoh perhitungan yang telah dilakukan dapat dilihat pada bagian lampiran. Tabel berikut menunjukkan nilai hasil ke empat dosis untuk setiap organ dengan 9 variasi yang di uji cobakan.

Tabel 4.1. Nilai laju dosis untuk setiap organ.

Konsen- -trasi Boron ($\mu\text{g/g}$)	Dosis Boron (Gy/detik)	Dosis proton (Gy/detik)	Dosis Neutron (Gy/detik)	Dosis Photon (Gy/detik)
Gross Target Volume				
20	1,99228E-04	4,42253E-05	3,74148E-05	4,03677E-05
30	2,97198E-04	4,39815E-05	3,71856E-05	4,01452E-05
40	3,94230E-04	4,37553E-05	3,69614E-05	3,99387E-05
50	4,89411E-04	4,34550E-05	3,67787E-05	3,96647E-05
60	5,84576E-04	4,32535E-05	3,65600E-05	3,94807E-05
70	6,76611E-04	4,29110E-05	3,64090E-05	3,91681E-05
80	7,70091E-04	4,27342E-05	3,62105E-05	3,90067E-05
90	8,62563E-04	4,25468E-05	3,60130E-05	3,88357E-05
100	9,52524E-04	4,22854E-05	3,58289E-05	3,85971E-05
Clinical Target Volume				
20	1,10348E-04	4,89911E-05	4,16094E-05	4,47179E-05
30	1,64962E-04	4,88251E-05	4,14529E-05	4,45663E-05
40	2,19266E-04	4,86732E-05	4,12688E-05	4,44277E-05
50	2,73466E-04	4,85636E-05	4,11089E-05	4,43277E-05
60	3,26086E-04	4,82565E-05	4,09104E-05	4,40473E-05
70	3,78876E-04	4,80587E-05	4,07684E-05	4,38668E-05
80	4,30904E-04	4,78257E-05	4,06298E-05	4,36541E-05
90	4,83194E-04	4,76703E-05	4,04867E-05	4,35122E-05
100	5,34419E-04	4,74513E-05	4,03313E-05	4,33124E-05
Planning Target Volume				
20	2,46279E-05	1,61339E-05	4,88773E-05	5,57828E-05
30	3,79160E-05	1,60683E-05	4,87382E-05	5,55560E-05
40	4,89506E-05	1,60339E-05	4,85951E-05	5,54372E-05

50	6,11406E-05	1,60214E-05	4,84724E-05	5,53939E-05
60	7,31113E-05	1,59652E-05	4,83511E-05	5,51995E-05
70	8,49684E-05	1,59038E-05	4,82442E-05	5,49871E-05
80	9,70241E-05	1,58902E-05	4,81383E-05	5,49403E-05
90	1,08687E-04	1,58225E-05	4,79997E-05	5,47063E-05
100	1,20494E-04	1,57871E-05	4,78937E-05	5,45839E-05
Otak				
20	2,61342E-05	1,71207E-05	7,00163E-05	5,91948E-05
30	3,91370E-05	1,70926E-05	6,98975E-05	5,90976E-05
40	5,20428E-05	1,70468E-05	6,97193E-05	5,89391E-05
50	6,49701E-05	1,70249E-05	6,95659E-05	5,88635E-05
60	7,78402E-05	1,69978E-05	6,94223E-05	5,87699E-05
70	9,06189E-05	1,69614E-05	6,92739E-05	5,86438E-05
80	1,03259E-04	1,69114E-05	6,90907E-05	5,84710E-05
90	1,16017E-04	1,68895E-05	6,89571E-05	5,83954E-05
100	1,28764E-04	1,68708E-05	6,88531E-05	5,83305E-05
Tengkorak				
20	2,56210E-05	5,30709E-05	5,43351E-05	1,87266E-06
30	3,83743E-05	5,29918E-05	5,42856E-05	1,86987E-06
40	5,11180E-05	5,29424E-05	5,42262E-05	1,86812E-06
50	6,38379E-05	5,28930E-05	5,41668E-05	1,86638E-06
60	7,65102E-05	5,28271E-05	5,41024E-05	1,86405E-06
70	8,91006E-05	5,27316E-05	5,40480E-05	1,86068E-06
80	1,01810E-04	5,27217E-05	5,39935E-05	1,86033E-06
90	1,14351E-04	5,26360E-05	5,39143E-05	1,85731E-06
100	1,27001E-04	5,26129E-05	5,38747E-05	1,85650E-06
Kulit				
20	1,63079E-05	3,73437E-05	3,64125E-05	8,74885E-07
30	2,44404E-05	3,73109E-05	3,63753E-05	8,74116E-07
40	3,25109E-05	3,72235E-05	3,63486E-05	8,72070E-07
50	4,06068E-05	3,71944E-05	3,63219E-05	8,71387E-07
60	4,86996E-05	3,71725E-05	3,62981E-05	8,70875E-07
70	5,68273E-05	3,71797E-05	3,62630E-05	8,71044E-07
80	6,49137E-05	3,71615E-05	3,62397E-05	8,70617E-07
90	7,27419E-05	3,70159E-05	3,61986E-05	8,67206E-07
100	8,07369E-05	3,69759E-05	3,61585E-05	6,28044E-07

Tabel 4.1 berisi data-data nilai laju dosis untuk keempat dosis penting pada terapi BNCT, dari data-data nilai laju dosis tersebut kemudian dapat kita kembangkan untuk melihat seberapa baik metode terapi BNCT dalam membunuh sel kanker, berapa konsentrasi yang efektif untuk terapi BNCT, waktu iradiasi efektif, dan seberapa besar pengaruh dan efek samping metode terapi ini pada jaringan sehat yang juga mungkin terkena dampak terapi. Satuan dari nilai laju dosis adalah Gy/detik, yang artinya adalah jumlah serapan radiasi (Gy) yang diterima oleh organ tertentu dalam jangka waktu satu detik. Beberapa organ tersebut adalah organ kanker (PTV, CTV, GTV), otak, tengkorak, dan kulit. Dari data-data pada tabel jika kita ambil salah satu variasi konsentrasi sebagai contoh untuk kita buat sebuah grafik agar data lebih mudah kita baca maka grafik tersebut akan berbentuk seperti berikut pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. Nilai laju ke empat dosis pada BNCT untuk konsentrasi 100 $\mu\text{g/g}$.

Grafik pada gambar 4.6 dibuat menggunakan konsentrasi tertinggi yang di uji cobakan pada simulasi yaitu 100 $\mu\text{g/g}$ jaringan. Pada grafik dapat terlihat jelas jika dosis boron memiliki nilai yang jauh lebih tinggi di bandingkan dosis proton, dosis hamburan neutron, maupun dosis gamma. Hal ini dapat berarti baik karena dosis boron adalah dosis inti pada terapi BNCT yang membuktikan reaksi inti sudah terjadi. Alfa dan litium merupakan hasil reaksi inti dari boron-10 yang memiliki sifat perusak yang diharapkan dapat membunuh sel kanker. Dosis boron yang cukup besar pada organ kanker GTV membuktikan bahwa terapi BNCT bersifat selektif, tentunya dengan syarat bahwa senyawa obat yang mengandung boron-10 harus terakumulasi pada organ kanker. Pada penelitian ini diasumsikan konsentrasi boron-10 pada kanker 2 kali lebih besar dibandingkan organ CTV dan 10 kali lebih besar dibandingkan pada organ PTV dan organ sehat lainnya.

Setelah mendapatkan nilai laju dosis dari keempat komponen dosis pada BNCT selanjutnya kita dapat mencari dosis total untuk tiap konsentrasi boron yang di serap oleh setiap organ. Dosis total pada penelitian ini memiliki prinsip yang sama dengan dosis ekuivalen pada proteksi radiasi. Dosis ekuivalen merupakan sebaran dosis yang menyatakan besarnya tingkat kerusakan pada jaringan tubuh akibat terserapnya sejumlah energi radiasi dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dosis total didapatkan dengan mengalikan dosis serap dengan faktor kualitas radiasi yang sebelumnya telah dijelaskan pada tabel 3.5. Persamaan yang digunakan untuk perhitungan dosis total pada BNCT mengikuti persamaan berikut.

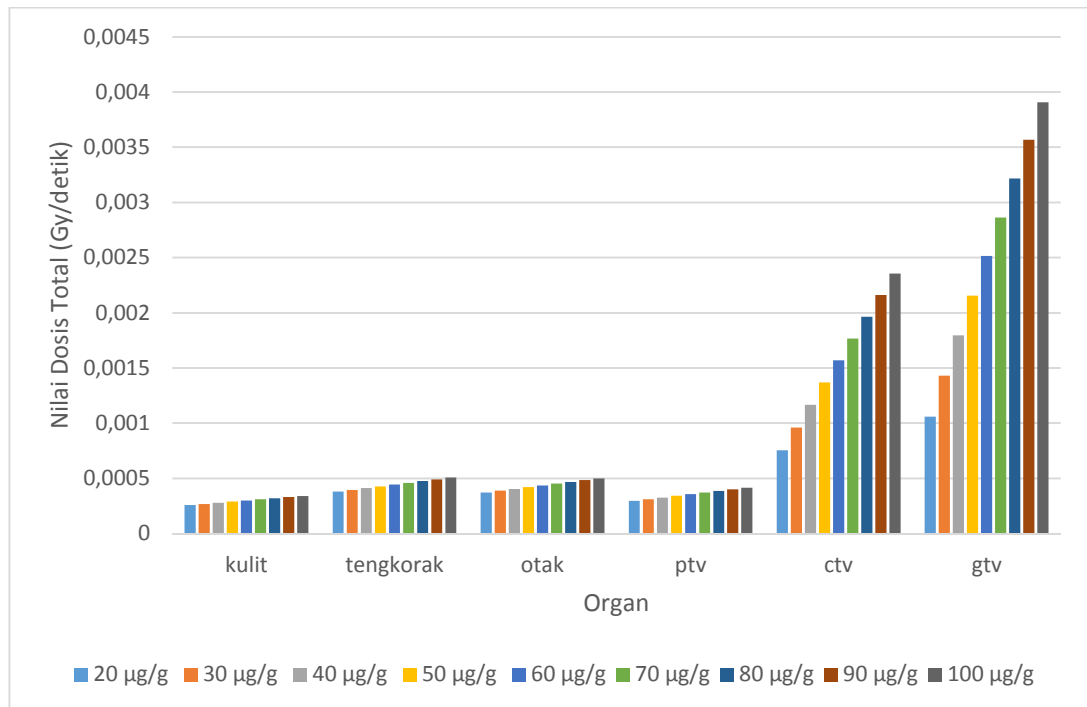
$$\dot{D}_{total} = (w_{boron} \times \dot{D}_{boron}) + (w_p \times \dot{D}_{proton}) + (w_n \times \dot{D}_{neutron}) + (w_\gamma \times \dot{D}_\gamma)$$

Dosis total yang diserap untuk setiap organ pada pada jangka waktu satu detik dapat dilihat pada tabel 4.2 yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.2. Nilai laju dosis total untuk setiap organ pada sembilan variasi konsentrasi boron yang di ujicobakan.

Konsentrasi	Laju Dosis Total (Gy/s)					
	Kulit	tengkorak	Otak	PTV	CTV	GTV
20 µg/g	2,581E-04	3,789E-04	3,720E-04	2,958E-04	7,540E-04	1,059E-03
30 µg/g	2,684E-04	3,950E-04	3,883E-04	3,108E-04	9,603E-04	1,429E-03
40 µg/g	2,786E-04	4,113E-04	4,042E-04	3,259E-04	1,165E-03	1,796E-03
50 µg/g	2,889E-04	4,274E-04	4,204E-04	3,413E-04	1,370E-03	2,156E-03
60 µg/g	2,993E-04	4,435E-04	4,365E-04	3,561E-04	1,569E-03	2,516E-03
70 µg/g	3,098E-04	4,594E-04	4,524E-04	3,707E-04	1,768E-03	2,864E-03
80 µg/g	3,201E-04	4,757E-04	4,679E-04	3,860E-04	1,964E-03	3,218E-03
90 µg/g	3,297E-04	4,915E-04	4,839E-04	4,002E-04	2,162E-03	3,568E-03
100 µg/g	3,396E-04	5,077E-04	5,000E-04	4,150E-04	2,355E-03	3,908E-03

Tabel 4.2 jika kita buat sebagai grafik maka bentuk grafiknya dapat dilihat sebagai berikut pada gambar 4.7.



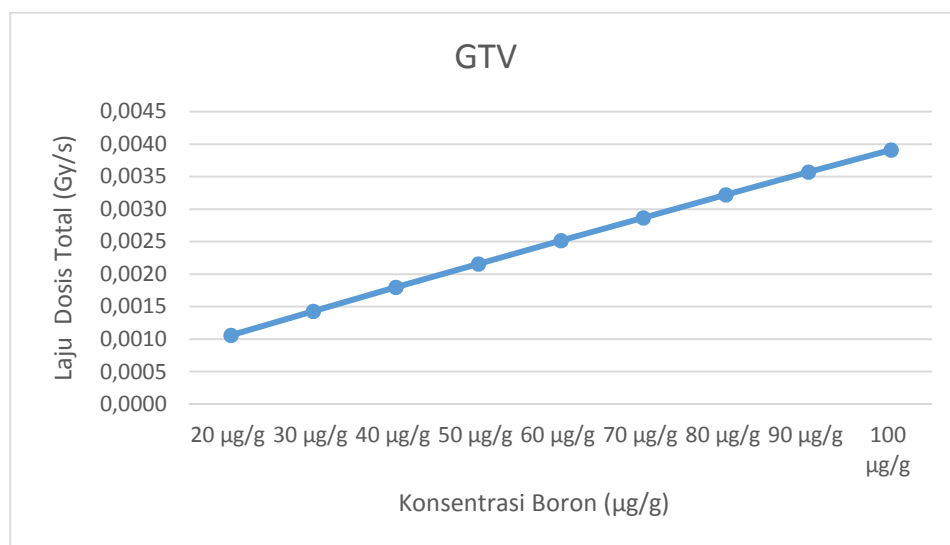
Gambar 4.7. Nilai laju dosis total untuk setiap organ pada sembilan variasi konsentrasi boron yang di ujicobakan.

Dari grafik diatas sebenarnya kita dapat menyimpulkan jika semakin tinggi konsentrasi boron maka semakin tinggi pula nilai laju dosis total pada jaringan . Nilai dosis total tertinggi ditemukan pada organ utama kanker yaitu pada organ GTV dengan nilai yang diuraikan sebagai berikut pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Nilai laju dosis total pada organ GTV.

Konsentrasi (µg/g)	Laju Dosis Total (Gy/s)
20 µg/g	1,05868E-03
30 µg/g	1,42923E-03
40 µg/g	1,79631E-03
50 µg/g	2,15617E-03
60 µg/g	2,51627E-03
70 µg/g	2,86411E-03
80 µg/g	3,21798E-03
90 µg/g	3,56797E-03
100 µg/g	3,90815E-03

Nilai laju dosis total terbesar pada organ GTV terjadi pada konsentrasi 100 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker dengan nilai $3,9082 \times 10^{-3}$ Gy untuk jangka waktu satu detik. Kenaikan konsentrasi boron pada jaringan kanker berbanding lurus dengan nilai laju dosis total dengan kenaikan yang dapat dikatakan linier yang dibuktikan di dalam grafik pada gambar 4.8 berikut.



Gambar 4.8. Grafik nilai laju dosis total pada organ GTV.

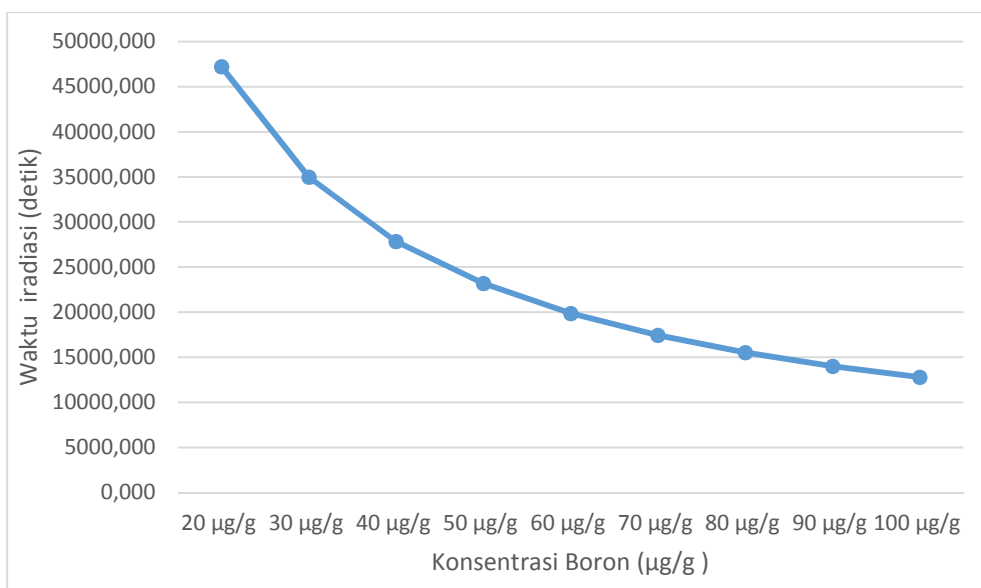
Untuk dapat menentukan waktu iradiasi efektif, sebelumnya kita harus mengetahui berapa rata-rata dosis serap total pada jaringan kanker yang perlu di capai agar sel kanker dapat rusak, dosis perusak kanker untuk penyakit Glioblastoma multiforme berkisar antara 45 Gy – 60 Gy (Pointer et al., 2014), yang kemudian penulis mengambil angka 50 Gy sebagai dosis perusak kanker. Selanjutnya waktu iradiasi untuk terapi BNCT didapatkan dengan membandingkan antara dosis minimum perusak kanker dengan

laju dosis total pada kanker yang lalu hasilnya diuraikan pada tabel 4.4 yaitu sebagai berikut.

Tabel 4.4. Waktu iradiasi terapi BNCT per konsentrasi boron.

Konsentrasi Boron ($\mu\text{g/g}$)	Waktu Iradiasi (detik)	Waktu Iradiasi
20 $\mu\text{g/g}$	47228,45681	13 jam 7 menit 8 detik
30 $\mu\text{g/g}$	34983,82489	9 jam 43 menit 4 detik
40 $\mu\text{g/g}$	27834,90129	7 jam 43 menit 55 detik
50 $\mu\text{g/g}$	23189,22323	6 jam 26 menit 29 detik
60 $\mu\text{g/g}$	19870,66437	5 jam 31 menit 11 detik
70 $\mu\text{g/g}$	17457,41837	4 jam 50 menit 57 detik
80 $\mu\text{g/g}$	15537,71613	4 jam 18 menit 58 detik
90 $\mu\text{g/g}$	14013,5872	3 jam 53 menit 34 detik
100 $\mu\text{g/g}$	12793,76633	3 jam 33 menit 14 detik

Pada tabel diatas dapat kita lihat bahwa semakin tinggi konsentrasi boron yang diberikan kepada kanker maka waktu iradiasi akan berlangsung lebih cepat. Dapat dibuktikan pada grafik berikut pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. Grafik perbandingan waktu iradiasi dengan nilai konsentrasi boron.

Waktu iradiasi tercepat terjadi pada nilai konsentrasi boron 100 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker dengan 3 jam 33 menit dan 14 detik sedangkan waktu terlama terjadi pada konsentrasi boron 20 $\mu\text{g/g}$ jaringan kanker dengan waktu 13 jam 7 menit dan 8 detik.

Waktu iradiasi yang diperoleh agar dosis serap total yang diterima oleh jaringan kanker mampu mencapai dosis minimum perusak kanker yaitu 50 Gy tersebut selanjutnya menjadi patokan waktu tetap yang akan menentukan berapa dosis serap total yang diterima oleh jaringan sehat pada rentang waktu tersebut untuk melihat efek samping dari terapi BNCT kepada organ lainnya yang mungkin terkena dampak dari terapi. Nilai dosis serap total untuk seluruh organ dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.5. Dosis serap total untuk setiap organ.

Konsentrasi boron ($\mu\text{g/g}$)	Kulit (Gy)	Tengkorak (Gy)	Otak (Gy)	PTV (Gy)	CTV (Gy)	GTV (Gy)
20	12,19	17,89	17,57	13,97	35,61	50,00
30	9,39	13,82	13,59	10,87	33,60	50,00
40	7,75	11,45	11,25	9,07	32,44	50,00
50	6,70	9,91	9,75	7,91	31,78	50,00
60	5,95	8,81	8,67	7,08	31,17	50,00
70	5,41	8,02	7,90	6,47	30,86	50,00
80	4,97	7,39	7,27	6,00	30,52	50,00
90	4,62	6,89	6,78	5,61	30,29	50,00
100	4,35	6,50	6,40	5,31	30,13	50,00

Mengetahui dosis serap total pada jaringan sehat sangatlah penting untuk menentukan keselamatan dan keamanan dari terapi BNCT, tidak semua variasi konsentrasi boron yang digunakan dapat bersifat aman karena beberapa organ memiliki sifat sensitif terhadap radiasi, efek radiasi yang diterima oleh

organ adalah efek deterministik. Efek deterministik adalah efek radiasi yang langsung dirasakan oleh pasien. Jaringan kulit termasuk kedalam organ yang cukup sensitif terhadap radiasi. Ketentuan batas dosis yang memunculkan efek deterministik pada jaringan kulit untuk rentang dosis radiasi tertentu ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 4.6. Efek deterministik pada kulit (*Dpt. Of Radiation Oncology Ghent University Hospital*).

Dosis (Gy)	Efek	Waktu (hari)
3	Epilasi	14 – 18
3 – 10	Eritema	14 – 21
8 – 12	Deskuamasi kering	25 – 30
15 – 20	Deskuamasi basah	20 – 28
15 – 25	Melepuh	15 – 25
20+	Ulserasi	14 – 21
25+	Nekrosis	21+

Tabel 4.7. Efek deterministik pada kulit (Peraturan Kepala Bapeten No. 6, 2010).

Efek radiasi	Rentang dosis (Gy)	Waktu
Eritema awal	3	6 - 24 jam
Epilasi dan deskuamasi kering	5	3 - 6 minggu
Deskuamasi basah	15	4 - 6 minggu
Nekrosis	>20	10 minggu

Tabel 4.8. Efek deterministik pada beberapa jaringan (ICRP, 2007)

Efek	Jaringan/organ	Waktu	Dosis serap (Gy)
Kemandulan sementara	Testis	3 – 9 minggu	~0,1 ^{a,b}
Kemandulan permanen	Testis	3 minggu	~6 ^{a,b}
Kemandulan permanen	Ovarium	< 1 minggu	~3 ^{a,b}
Depresi pada proses pembentuk darah	Sumsum tulang	3 – 7 minggu	~0,5 ^{a,b}

Fase utama kulit memerah	Kulit (area yang luas)	1 – 4 minggu	< 3~6 ^b
Kulit terbakar	Kulit (area yang luas)	2 – 3 minggu	5~10 ^b
Kerontokan rambut sementara	Kulit	2 – 3 minggu	~4 ^b
Katarak	Mata	Beberapa tahun	~1,5 ^{a,c}

a) ICRP (1984)

b) UNSCEAR (1988)

c) Edards and Lloyd (1996)

Perkiraan efek deterministik yang dapat terjadi pada organ kulit yaitu eritema (kulit kemerahan), epilasi dan deskuamasi kering (kerontokan rambut dan pengelupasan kulit), deskuamasi basah (nanah dan infeksi kulit), lalu nekrosis (kematian jaringan). Berdasarkan efek deterministik yang ditimbulkan dari iradiasi dengan menggunakan acuan-acuan di atas, efek yang mungkin terjadi di dalam simulasi ini berdasarkan acuan-acuan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9. Perkiraan efek deterministik pada kulit.

Konsentrasi ($\mu\text{g/g}$)	Dosis serap total (Gy)	Efek deterministik		
		(Dpt. Of Radiation Oncology Ghent University Hospital)	(Peraturan Kepala Bapeten no. 6, Tahun 2010)	(ICRP, 2007)
20 $\mu\text{g/g}$	12,19 Gy	Deskuamasi kering	Epilasi dan deskuamasi kering	Kulit terbakar
30 $\mu\text{g/g}$	9,39 Gy	Deskuamasi kering	Epilasi dan deskuamasi kering	Kulit terbakar
40 $\mu\text{g/g}$	7,75 Gy	Eritema	Epilasi dan deskuamasi kering	Kulit terbakar

50 μg/g	6,70 Gy	Eritema	Epilasi dan deskuamasi kering	Kulit terbakar
60 μg/g	5,95 Gy	Eritema	Epilasi dan deskuamasi kering	Kulit terbakar
70 μg/g	5,41 Gy	Eritema	Epilasi dan deskuamasi kering	Kulit terbakar
80 μg/g	4,97 Gy	Eritema	Eritema	Fase utama kulit memerah Kulit terbakar
90 μg/g	4,62 Gy	Eritema	Eritema	Fase utama kulit memerah
100 μg/g	4,35 Gy	Eritema	Eritema	Fase utama kulit memerah Kerontokan rambut sementara

Pada tabel 4.9 dapat kita lihat efek deterministik yang diterima oleh jaringan kulit selama berlangsungnya terapi BNCT. Semakin besar jumlah konsentrasi boron pada jaringan kanker (dengan asumsi jumlah konsentrasi boron pada jaringan kulit maksimal 1/10 dari konsentrasi boron pada jaringan kanker), maka semakin kecil dosis serap total yang diterima oleh kulit sebagai organ yang sensitif terhadap radiasi. Dosis serap terkecil ada pada konsentrasi boron 100 μg/gram jaringan kanker yaitu sebesar 4,35 Gy, dosis tersebut pun pada beberapa sumber referensi masih menimbulkan efek deterministik pada kulit.

Jika penulis harus menyimpulkan berapa konsentrasi yang efektif menurut penulis dari penelitian yang telah dilakukan, penulis akan merekomendasikan konsentrasi 80 $\mu\text{g}/\text{gram}$, 90 $\mu\text{g}/\text{gram}$, dan 100 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan kanker hingga konsentrasi maksimal yang dapat diberikan yaitu 150 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan kanker. Karena ketiga konsentrasi tersebut memiliki perbedaan dosis serap total yang cukup kecil selisihnya dan jangka waktu iradiasi efektif yang dapat dikatakan berdekatan.

Konsentrasi boron maksimal yang dapat diinjeksikan ke dalam sel kanker tidak boleh melebihi 150 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan. Diatas konsentrasi 150 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan, boron dapat bersifat racun bagi tubuh. Jika penulis menambahkan jumlah konsentrasi hingga lebih dari 150 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan, mungkin dosis serap total yang diterima oleh jaringan kulit dapat lebih kecil dan waktu iradiasi dapat berlangsung lebih cepat, namun dalam realita terapi BNCT terutama untuk kanker otak glioblastoma multiform, angka konsentrasi hingga 100 $\mu\text{g}/\text{gram}$ jaringan kanker adalah angka konsentrasi yang cukup tinggi. Ada satu kendala pada simulasi penelitian ini dimana angka fluks neutron epitermal dari keluaran simulasi kolimator reaktor kartini yang penulis gunakan pada penelitian ini masih cukup kecil, yaitu hampir 4 kali lebih kecil jika dibandingkan dengan rekomendasi minimal jumlah fluks neutron epitermal dari IAEA ($2,77 \times 10^8$ berbanding dengan $1,0 \times 10^9$), sehingga hal tersebut akan sangat berpengaruh terhadap jumlah dosis serap total yang diterima oleh organ pada simulasi. Jika memang data fluks yang penulis ambil dari hasil simulasi pada penelitian yang dilakukan Zailani (2017) memang akan

menjadi data realita dari fluks neutron keluaran kolimator beamport tembus radial reaktor kartini yang saat ini masih dalam proses pembangunan, maka data hasil simulasi yang penulis lakukan dapat langsung digunakan untuk uji in vivo dan in vitro untuk terapi BNCT. Namun jika di kemudian hari ditemukan bahwa data fluks neutron tersebut secara realita berbeda dengan hasil simulasi maka data hasil simulasi permodelan yang penulis lakukan perlu di evaluasi.

BAB V

PENUTUP

1.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Konsentrasi boron efektif adalah berada di kisaran 80 $\mu\text{g} / \text{g}$, 90 $\mu\text{g} / \text{g}$, dan 100 $\mu\text{g} / \text{g}$ jaringan.
2. Jumlah konsentrasi boron di dalam jaringan kanker yang semakin besar akan meningkatkan tingkat dosis serap total yang diterima oleh kanker.
3. Waktu iradiasi efektif terjadi pada konsentrasi boron di kisaran 80 $\mu\text{g} / \text{g}$, 90 $\mu\text{g} / \text{g}$, dan 100 $\mu\text{g} / \text{g}$ jaringan kanker yang didapat dengan waktu penyinaran 4 jam dan 19 menit, 3 jam dan 53 menit, dan 3 jam dan 33 menit.
4. Jumlah konsentrasi boron di dalam jaringan kanker yang semakin besar akan memperpendek waktu penyinaran iradiasi saat terapi BNCT berlangsung.

1.2. Saran

1. Dilakukan studi kembali mengenai fluks neutron keluaran kolimator reaktor kartini, agar fluks neutron keluaran dapat memenuhi standar yang diberikan oleh IAEA.
2. Menggunakan sumber neutron yang berbeda misalnya dari sumber neutron keluaran Cyclotron 30 MeV.
3. Dilakukan pembuatan model phantom dengan jenis voxel agar phantom dapat lebih menyerupai organ asli.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander V, Safronov. (2014). *Boron Neutron Capture Therapy of Cancer as Part of Modern Nanomedicine*. Internasional Journal of Medical Nano Research. Hlm 1:1
- American Brain Tumor Association. (2014). *Brain Tumor Dictionary*. Chicago : American Brain Tumor Association.
- American Cancer Society. (2015). *Cancer Facts & Figure 2015*. Atlanta : American Cancer Society.
- American association of Neurological Surgeons. (2018). Glioblastoma Multiforme. Diambil 30 Januari, 2018, dari <http://www.aans.org/Patients/Neurosurgical-Conditions-and-Treatments/Glioblastoma-Multiforme>
- Ardana, I. M. (2015). *Optimasi Desain Kolimator dan Dosimetri Terapi Kanker Sarkoma jaringan Lunak pada Leher dan Kepala dengan Boron Neutron Capture Therapy untuk Sumber Neutron Cyclotron 30 MeV menggunakan Program MCNPX*. Universitas Gadjah Mada
- Ardana I. M. & Sardjono, Y. (2017). *Optimization of A Neutron Beam Shaping Assembly Design for BNCT and Its Dosimetry Simulation Based on MCNPX*. *Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir*, 2015, 121-130. <https://doi.org/10.17146/tdm.2017.19.3.3582>
- Arrozaqi, M. I. M., Sardjono, Y., & Widiarto, A. (2014). PERANCANGAN KOLIMATOR DI BEAM PORT TEMBUS REAKTOR KARTINI UNTUK BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*, 163-178.
- Association, A. B. T. (2015). Glioma - American Brain Tumor Association. Diambil 15 Januari, 2018, dari <http://www.abta.org/brain-tumor-information/types-of-tumors/glioma.html?referrer=https://www.google.com/>
- Badhrees, I., Alrumayan, F., & Mahube, F. (2015). The Perspectives of the Boron

- Neutron Capture Therapy-Clinical Applications Research and Development in Saudi Arabia. *Physics Procedia*, 66, 59–67. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.05.010>
- Bapeten. (2010). Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 Tahun 2010. Diakses dari https://jdih.bapeten.go.id/files/000204_1.pdf pada tanggal 28 September 2018
- BATAN. (2018). Sejarah Reaktor Kartini. Retrieved 13 April 2018, dari <http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputian/fasilitas-nuklir/869-sejarah-reaktor-kartini-yogyakarta>
- Berlianti, Dwi S. (2013). Analisis Dosis di Organ Kritis pada Terapi Glioblastoma dengan BNCT menggunakan Simulasi MCNP5. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Cancer Research United Kingdom. (2017). Secondary Brain Tumor. Diambil 29 Januari, 2018 dari <https://www.cancerresearchuk.org/>
- Cedars-Sinai Medical Centre. (2018). Measuring the Quality of Treatment for Brain Tumors. Diambil 30 Januari, 2018 dari <https://www.cedars-sinai.edu/Patients/Quality-Measures/Clinical-Areas/Measuring-the-Quality-of-Treatment-for-Brain-Tumors.aspx>
- Chan, H.-K., & Ismail, S. (2014). Side Effects of Chemotherapy among Cancer Patients in a Malaysian General Hospital: Experiences, Perceptions and Informational Needs from Clinical Pharmacists. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(13), 5305–5309. <https://doi.org/10.7314/APJCP.2014.15.13.5305>
- Cheung-Ong, K., Giaever, G., & Nislow, C. (2013). DNA-Damaging Agents in Cancer Chemotherapy: Serendipity and Chemical Biology. *Chemistry & Biology*, 20(5), 648–659. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2013.04.007>
- Cristy, M., & Eckerman, K. F. (1987). Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources. *ORNL/Tm-8381 V1-V7* <https://doi.org/10.1.1.453.354>
- Eckerman, K. F., Cristy M., & Ryman, J. C. (1996) The ORNL Mathematical Phantom Series. Oak Ridge National Laboratory. Diambil dari

<http://ordose.ornl.gov/resources/Mird.pdf>

- Fauziah, Nina. (2013). *A Conceptual design of Neutron Collimator in the Thermal Column of Kartini Research Reactor for Boron Neutron Capture Therapy*. Skripsi. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Gzell, C., Back, M., Wheeler, H., Bailey, D., & Foote, M. (2017). Radiotherapy in Glioblastoma: the Past, the Present and the Future. *Clinical Oncology*, 29(1), 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.clon.2016.09.015>
- Heber. Eliminasi M. (2014). Therapeutic efficacy of boron neutron capture therapy mediated by boron-rich liposomes for oral cancer in the hamster cheek pouch model. *Journal of Medical Science*. 11; 111(45). doi: 10.1073/pnas.1410865111
- Horiguchi, H., Sato, T., Kumada, H., Yamamoto, T., & Sakae, T. (2015). Estimation of relative biological effectiveness for boron neutron capture therapy using the PHITS code coupled with a microdosimetric kinetic model. *Journal of Radiation Research*, 56(2), 382–390. <https://doi.org/10.1093/jrr/rru109>
- IAEA. (2014). *Pact : Together Against Cancer*. PACT Programme Office. Internasional Atomic Energi Agency. Venna : Vienna Internasional Centre.
- John D, David W, dan Frederik M. (2013). *Coumputational Characterization and Experimental Validation of the Thermal Neutron Source for Neutron Capture Therapy Research at the University of Missouri*. Internasional Conference on Mathematics and Computational Methods Applied to Nuclear Science & Engineering (M&C), Sun Valley, Idaho, USA.
- Kumada, H., Takada, K., Yamanashi, K., Sakae, T., Matsumura, A., & Sakurai, H. (2015). Verification of nuclear data for the Tsukuba plan, a newly developed treatment planning system for boron neutron capture therapy. *Applied Radiation and Isotopes*, 106, 111–115. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.08.032>
- Luderer, M. J., De La Puente, P., & Azab, A. K. (2015). Advancements in Tumor Targeting Strategies for Boron Neutron Capture Therapy. *Pharmaceutical Research*, 32(9), 2824–2836. <https://doi.org/10.1007/s11095-015-1718-y>

- Mahmud. (2017). Analisis Dosis Analisis Dosis Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) pada Kanker Otak (Glioblastoma Multiforme) Menggunakan MCNPX-Code dengan Sumber Neutron dari Kolimator Kolom Termal Reaktor Kartini.
- Massachusetts Institute of Technology – Departement of Biology. (2013). Lobes of the Brain. Diambil 30 Januari, 2018 dari <https://biology.mit.edu/sites/default/files/Brain%20Anatomy%20OverviewRev.pdf>
- Moss, R. L. (2014). Critical review, with an optimistic outlook, on Boron Neutron Capture Therapy (BNCT). *Applied Radiation and Isotopes*, 88, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.11.109>
- Neurosurgery, N., Oncology, M., & Paediatric, R. (2014). European Association of NeuroOncology Magazine, 4(3).
- Niita, K., Sato, T., Iwamoto, Y., Hashimoto, S., Ogawa, T., Furuta, T., ... Sihver, L. (2015). *PHITS Ver. 2.81 User's Manual*
- Nizamutdinov, D., Stock, E. M., Dandashi, J. A., Vasquez, E. A., Mao, Y., Dayawansa, S., ... Huang, J. H. (2018). Prognostication of Survival Outcomes in Patients Diagnosed with Glioblastoma. *World Neurosurgery*, 109, e67–e74. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.09.104>
- Nurwati, S., & Prasetya, R. I. (2014). Kajian Medis Pemanfaatan Teknologi Nuklir Bnct Untuk Tumor Otak Jenis Glioma, (6).
- Ostrom, Q. T., Gittleman, H., Fulop, J., Liu, M., Blanda, R., Kromer, C., ... Barnholtz-Sloan, J. S. (2015). CBTRUS Statistical Report: Primary Brain and Central Nervous System Tumors Diagnosed in the United States in 2008-2012. *Neuro-Oncology*, 17, iv1-iv62. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nov189>
- Ostrom, Q. T., Gittleman, H., Liao, P., Vecchione-Koval, T., Wolinsky, Y., Kruchko, C., & Barnholtz-Sloan, J. S. (2017). CBTRUS Statistical Report: Primary brain and other central nervous system tumors diagnosed in the United States in 2010–2014. *Neuro-Oncology*, 19(suppl_5), v1–v88. <https://doi.org/10.1093/neuonc/nox158>

- Payudan, A., Aziz, A. N., & Sardjono, Y. (2016). Basic Principle Application and Technology of Boron Neutron Capture Cancer Therapy (BNCT) Utilizing Monte Carlo N Particle 5 ' S Software (MCNP 5) with Compact Neutron Generator (CNG), 20–33.
- Pointer, K. B., Clark, P. A., Zorniak, M., Alrfaei, B. M., & Kuo, J. S. (2014). Glioblastoma cancer stem cells: Biomarker and therapeutic advances. *Neurochemistry International*, 71(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2014.03.005>
- Pozzi, E. C. C., Trivillin, V. A., Colombo, L. L., Monti Hughes, A., Thorp, S. I., Cardoso, J. E., ... Schwint, A. E. (2013). Boron neutron capture therapy (BNCT) for liver metastasis in an experimental model: Dose-response at five-week follow-up based on retrospective dose assessment in individual rats. *Radiation and Environmental Biophysics*, 52(4), 481–491. <https://doi.org/10.1007/s00411-013-0490-9>
- Purwanto, K. M. (2016). *Analisis Distribusi Dosis Radiasi pada Terapi Kanker Serviks dengan Boron Neutron Capture Cancer Therapy menggunakan MCNPX*. Universitas Gadjah Mada
- Rahmawati, N. A., & Darmawan, D. (n.d.). Analisis Dosis pada Penyembuhan Kanker Payudara dengan Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) Menggunakan MCNP The Dosage Analysis on Breast Cancer Healing With Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) By Using Mcnp X, 82–88.
- Rosidah, S., Sardjono, Y., & Sumardi, Y. (2017). Analisis Dosis Bnct Pada Kanker Kulit Melanoma Menggunakan Mcnpx Dengan Sumber Neutron Dari Kolom Termal Reaktor. *Jurnal Fisika*, 6, 352–359.
- Sato, T., Niita, K., Matsuda, N., Hashimoto, S., Iwamoto, Y., Noda, S., ... Sihver, L. (2013). Particle and heavy ion transport code system, PHITS, version 2.52. *Journal of Nuclear Science and Technology*, 50(9), 913–923. <https://doi.org/10.1080/00223131.2013.814553>
- Saurwein, W. A. G., & Moss, R. L. (2009). *Requirements for Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) at a Nuclear Research Reactor*. Netherlands: European Commision.

- Savolainen, S., Kortensniemi, M., Timonen, M., Reijonen, V., Kuusela, L., Uusi-Simola, J., ... Auterinen, I. (2013). Boron neutron capture therapy (BNCT) in Finland: Technological and physical prospects after 20 years of experiences. *Physica Medica*, 29(3), 233–248. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2012.04.008>
- Setiyadi. Ahdika, D. (2016). Dosis Boron Neutron Capture Therapy (BNCT) pada Kanker Kulit (Melanoma Maligna) menggunakan MCNPX- Code dengan Sumber Neutron dari Beamport Tembus Reaktor, 65–75.
- Sherlock Huang, L.-C., Hsieh, W.-Y., Chen, J.-Y., Huang, S.-C., Chen, J.-K., & Hsu, M.-H. (2014). Drug delivery system design and development for boron neutron capture therapy on cancer treatment. *Applied Radiation and Isotopes*, 88, 89–93. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.12.025>
- Siegel, R. L., Miller, K. D., & Jemal, A. (2016). Cancer statistics. *CA Cancer J Clin*, 66(1), 7–30. <https://doi.org/10.3322/caac.21332>.
- Standard Of Care. (2017). Glioblastoma Multiforme. Diambil 30 Januari, 2018 dari http://standardofcare.com/Glioblastoma_multiforme
- Wittig, A., Moss, R. L., & Sauerwein, W. A. G. (2014). Glioblastoma, brain metastases and soft tissue sarcoma of extremities: Candidate tumors for BNCT. *Applied Radiation and Isotopes*, 88, 46–49. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2013.11.038>
- Wongthai, P., Hagiwara, K., Miyoshi, Y., Wiriyaermkul, P., Wei, L., Ohgaki, R., ... Kanai, Y. (2015). Boronophenylalanine, a boron delivery agent for boron neutron capture therapy, is transported by ATB^{0,+}, LAT1 and LAT2. *Cancer Science*, 106(3), 279–286. <https://doi.org/10.1111/cas.12602>
- World Cancer Report 2014. (2014). *World Cancer Report 2014*. World Health Organization. USA : Internasional Agency for Research on Cancer
- World Cancer Research Internasional. (2015). Worldwide data. Diambil 30 Januari, 2018 dari <http://www.wcrf.org/int/cancer-facts-figures/worldwide-data>.
- World Health Organization. (2014). *Cancer Country Profiles 2014*. World Health Organization. Jakarta, Indonesia.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh program simulasi Untuk PHITS

```
[ Title ]
Perhitungan dosis terapi kanker metode
BNCT menggunakan program PHITS
pada konsentrasi 100 mikro gram/gram
kanker
[ Parameters ]
icntl = 0 # (D=0) 3:ECH 5:NOR
6:SRC 7,8:GSH 11:DSH 12:DUMP
maxcas = 100000 # (D=10) number
of particles per one batch
maxbch = 100 # (D=10) number of
batches
maxbnk = 50000
emin(2) = 1.000000000E-10 # (D=1.0)
cut-off energy of neutron (MeV)
emin(12) = 1.000000000E-01 # (D=1.d9)
cut-off energy of electron (MeV)
emin(14) = 1.000000000E-03 # (D=1.d9)
cut-off energy of photon (MeV)
emin(18) = 1.000000000E-03 # (D=1.d9)
cut-off energy of alpha (MeV)
emin(19) = 1.000000000E-03 # (D=1.d9)
cut-off energy of nucleus (MeV)
dmax(2) = 20.0000000 # (D=emin(2))
data max. energy of neutron (MeV)
dmax(12) = 1000.00000 # (D=emin(12))
data max. energy of electron (MeV)
dmax(14) = 1000.00000 # (D=emin(14))
data max. energy of photon (MeV)
dmax(18) = 1000.00000 # (D=emin(18))
data max. energy of alpha (MeV)
dmax(19) = 1000.00000 # (D=emin(19))
data max. energy of nucleus (MeV)
file(6) = phits.out # (D=phits.out)
general output file name
e-mode = 2
igamma = 2 # gamma decay

[ Source ]
totfact = 1.5**2*pi # (D=1.0) global
factor
<source> = 2 # Relative ratio of
intensity for each source
s-type = 4 # mono-energetic axial
source / cylinder with energy distribution
proj = neutron # kind of incident
particle
r0 = 1.5 # radius [cm]
z0 = 0
z1 = 0
trcl = 1
dir = 1. # z-direction of beam
[ cosine ]
e-type = 8
ne = 1502
1.000E-15 0.000E+00
1.026E-15 0.000E+00
1.052E-15 0.000E+00
1.078E-15 0.000E+00
1.106E-15 0.000E+00
1.134E-15 0.000E+00
1.163E-15 0.000E+00
1.193E-15 0.000E+00
1.223E-15 0.000E+00
1.254E-15 0.000E+00
1.286E-15 0.000E+00
1.319E-15 0.000E+00
1.352E-15 0.000E+00
1.387E-15 0.000E+00
1.422E-15 0.000E+00
1.458E-15 0.000E+00
1.496E-15 0.000E+00
1.534E-15 0.000E+00
1.573E-15 0.000E+00
1.613E-15 0.000E+00
1.654E-15 0.000E+00
1.696E-15 0.000E+00
1.739E-15 0.000E+00
1.784E-15 0.000E+00
1.829E-15 0.000E+00
1.876E-15 0.000E+00
1.923E-15 0.000E+00
1.972E-15 0.000E+00
2.023E-15 0.000E+00
2.074E-15 0.000E+00
2.127E-15 0.000E+00
2.181E-15 0.000E+00
2.237E-15 0.000E+00
2.294E-15 0.000E+00
2.352E-15 0.000E+00
2.412E-15 0.000E+00
2.473E-15 0.000E+00
2.536E-15 0.000E+00
2.601E-15 0.000E+00
2.667E-15 0.000E+00
2.735E-15 0.000E+00
2.805E-15 0.000E+00
2.876E-15 0.000E+00
2.950E-15 0.000E+00
3.025E-15 0.000E+00
3.102E-15 0.000E+00
3.181E-15 0.000E+00
3.262E-15 0.000E+00
3.345E-15 0.000E+00
3.430E-15 0.000E+00
3.518E-15 0.000E+00
3.607E-15 0.000E+00
3.699E-15 0.000E+00
3.793E-15 0.000E+00
3.890E-15 0.000E+00
3.989E-15 0.000E+00
4.091E-15 0.000E+00
4.195E-15 0.000E+00
4.302E-15 0.000E+00
4.411E-15 0.000E+00
4.524E-15 0.000E+00
4.639E-15 0.000E+00
4.757E-15 0.000E+00
4.878E-15 0.000E+00
5.002E-15 0.000E+00
5.130E-15 0.000E+00
5.261E-15 0.000E+00
5.395E-15 0.000E+00
5.532E-15 0.000E+00
5.673E-15 0.000E+00
5.817E-15 0.000E+00
5.966E-15 0.000E+00
6.118E-15 0.000E+00
6.273E-15 0.000E+00
6.433E-15 0.000E+00
6.597E-15 0.000E+00
6.765E-15 0.000E+00
6.938E-15 0.000E+00
7.114E-15 0.000E+00
7.295E-15 0.000E+00
7.481E-15 0.000E+00
7.672E-15 0.000E+00
7.867E-15 0.000E+00
8.068E-15 0.000E+00
8.273E-15 0.000E+00
8.484E-15 0.000E+00
8.700E-15 0.000E+00
8.922E-15 0.000E+00
9.149E-15 0.000E+00
9.382E-15 0.000E+00
9.621E-15 0.000E+00
9.866E-15 0.000E+00
1.012E-14 0.000E+00
1.038E-14 0.000E+00
1.064E-14 0.000E+00
1.091E-14 0.000E+00
1.119E-14 0.000E+00
1.147E-14 0.000E+00
1.177E-14 0.000E+00
1.207E-14 0.000E+00
1.237E-14 0.000E+00
1.269E-14 0.000E+00
1.301E-14 0.000E+00
1.334E-14 0.000E+00
1.368E-14 0.000E+00
1.403E-14 0.000E+00
1.439E-14 0.000E+00
1.476E-14 0.000E+00
1.513E-14 0.000E+00
1.552E-14 0.000E+00
1.591E-14 0.000E+00
1.632E-14 0.000E+00
1.673E-14 0.000E+00
1.716E-14 0.000E+00
1.760E-14 0.000E+00
1.804E-14 0.000E+00
1.850E-14 0.000E+00
1.898E-14 0.000E+00
1.946E-14 0.000E+00
1.995E-14 0.000E+00
2.046E-14 0.000E+00
2.098E-14 0.000E+00
2.152E-14 0.000E+00
2.207E-14 0.000E+00
2.263E-14 0.000E+00
2.321E-14 0.000E+00
2.380E-14 0.000E+00
2.440E-14 0.000E+00
2.502E-14 0.000E+00
2.566E-14 0.000E+00
2.632E-14 0.000E+00
2.699E-14 0.000E+00
2.767E-14 0.000E+00
2.838E-14 0.000E+00
2.910E-14 0.000E+00
2.984E-14 0.000E+00
3.060E-14 0.000E+00
3.138E-14 0.000E+00
3.218E-14 0.000E+00
3.300E-14 0.000E+00
3.384E-14 0.000E+00
3.470E-14 0.000E+00
3.559E-14 0.000E+00
3.650E-14 0.000E+00
3.742E-14 0.000E+00
3.838E-14 0.000E+00
3.936E-14 0.000E+00
4.036E-14 0.000E+00
4.139E-14 0.000E+00
4.244E-14 0.000E+00
4.352E-14 0.000E+00
4.463E-14 0.000E+00
4.577E-14 0.000E+00
4.693E-14 0.000E+00
4.813E-14 0.000E+00
4.935E-14 0.000E+00
5.061E-14 0.000E+00
5.190E-14 0.000E+00
5.322E-14 0.000E+00
5.458E-14 0.000E+00
5.597E-14 0.000E+00
```

5.740E-14	0.000E+00	4.515E-13	0.000E+00	3.552E-12	0.000E+00
5.886E-14	0.000E+00	4.630E-13	0.000E+00	3.643E-12	0.000E+00
6.036E-14	0.000E+00	4.748E-13	0.000E+00	3.736E-12	0.000E+00
6.189E-14	0.000E+00	4.869E-13	0.000E+00	3.831E-12	0.000E+00
6.347E-14	0.000E+00	4.993E-13	0.000E+00	3.928E-12	0.000E+00
6.509E-14	0.000E+00	5.121E-13	0.000E+00	4.029E-12	0.000E+00
6.675E-14	0.000E+00	5.251E-13	0.000E+00	4.131E-12	0.000E+00
6.845E-14	0.000E+00	5.385E-13	0.000E+00	4.236E-12	0.000E+00
7.019E-14	0.000E+00	5.522E-13	0.000E+00	4.344E-12	0.000E+00
7.198E-14	0.000E+00	5.663E-13	0.000E+00	4.455E-12	0.000E+00
7.381E-14	0.000E+00	5.807E-13	0.000E+00	4.568E-12	0.000E+00
7.569E-14	0.000E+00	5.955E-13	0.000E+00	4.685E-12	0.000E+00
7.762E-14	0.000E+00	6.107E-13	0.000E+00	4.804E-12	0.000E+00
7.960E-14	0.000E+00	6.262E-13	0.000E+00	4.927E-12	0.000E+00
8.162E-14	0.000E+00	6.422E-13	0.000E+00	5.052E-12	0.000E+00
8.370E-14	0.000E+00	6.585E-13	0.000E+00	5.181E-12	0.000E+00
8.584E-14	0.000E+00	6.753E-13	0.000E+00	5.313E-12	0.000E+00
8.802E-14	0.000E+00	6.925E-13	0.000E+00	5.448E-12	0.000E+00
9.027E-14	0.000E+00	7.101E-13	0.000E+00	5.587E-12	0.000E+00
9.256E-14	0.000E+00	7.282E-13	0.000E+00	5.729E-12	0.000E+00
9.492E-14	0.000E+00	7.468E-13	0.000E+00	5.875E-12	0.000E+00
9.734E-14	0.000E+00	7.658E-13	0.000E+00	6.025E-12	0.000E+00
9.982E-14	0.000E+00	7.853E-13	0.000E+00	6.178E-12	0.000E+00
1.024E-13	0.000E+00	8.053E-13	0.000E+00	6.336E-12	0.000E+00
1.050E-13	0.000E+00	8.258E-13	0.000E+00	6.497E-12	0.000E+00
1.076E-13	0.000E+00	8.469E-13	0.000E+00	6.663E-12	0.000E+00
1.104E-13	0.000E+00	8.684E-13	0.000E+00	6.832E-12	0.000E+00
1.132E-13	0.000E+00	8.906E-13	0.000E+00	7.006E-12	0.000E+00
1.161E-13	0.000E+00	9.133E-13	0.000E+00	7.185E-12	0.000E+00
1.190E-13	0.000E+00	9.365E-13	0.000E+00	7.368E-12	0.000E+00
1.221E-13	0.000E+00	9.604E-13	0.000E+00	7.555E-12	0.000E+00
1.252E-13	0.000E+00	9.848E-13	0.000E+00	7.748E-12	0.000E+00
1.284E-13	0.000E+00	1.010E-12	0.000E+00	7.945E-12	0.000E+00
1.316E-13	0.000E+00	1.036E-12	0.000E+00	8.148E-12	0.000E+00
1.350E-13	0.000E+00	1.062E-12	0.000E+00	8.355E-12	0.000E+00
1.384E-13	0.000E+00	1.089E-12	0.000E+00	8.568E-12	0.000E+00
1.420E-13	0.000E+00	1.117E-12	0.000E+00	8.786E-12	0.000E+00
1.456E-13	0.000E+00	1.145E-12	0.000E+00	9.010E-12	0.000E+00
1.493E-13	0.000E+00	1.174E-12	0.000E+00	9.240E-12	0.000E+00
1.531E-13	0.000E+00	1.204E-12	0.000E+00	9.475E-12	0.000E+00
1.570E-13	0.000E+00	1.235E-12	0.000E+00	9.716E-12	0.000E+00
1.610E-13	0.000E+00	1.267E-12	0.000E+00	9.964E-12	0.000E+00
1.651E-13	0.000E+00	1.299E-12	0.000E+00	1.022E-11	0.000E+00
1.693E-13	0.000E+00	1.332E-12	0.000E+00	1.048E-11	0.000E+00
1.736E-13	0.000E+00	1.366E-12	0.000E+00	1.075E-11	0.000E+00
1.780E-13	0.000E+00	1.401E-12	0.000E+00	1.102E-11	0.000E+00
1.826E-13	0.000E+00	1.436E-12	0.000E+00	1.130E-11	0.000E+00
1.872E-13	0.000E+00	1.473E-12	0.000E+00	1.159E-11	0.000E+00
1.920E-13	0.000E+00	1.510E-12	0.000E+00	1.188E-11	0.000E+00
1.969E-13	0.000E+00	1.549E-12	0.000E+00	1.219E-11	0.000E+00
2.019E-13	0.000E+00	1.588E-12	0.000E+00	1.250E-11	0.000E+00
2.070E-13	0.000E+00	1.629E-12	0.000E+00	1.281E-11	0.000E+00
2.123E-13	0.000E+00	1.670E-12	0.000E+00	1.314E-11	0.000E+00
2.177E-13	0.000E+00	1.713E-12	0.000E+00	1.348E-11	0.000E+00
2.233E-13	0.000E+00	1.756E-12	0.000E+00	1.382E-11	0.000E+00
2.289E-13	0.000E+00	1.801E-12	0.000E+00	1.417E-11	0.000E+00
2.348E-13	0.000E+00	1.847E-12	0.000E+00	1.453E-11	0.000E+00
2.408E-13	0.000E+00	1.894E-12	0.000E+00	1.490E-11	0.000E+00
2.469E-13	0.000E+00	1.942E-12	0.000E+00	1.528E-11	0.000E+00
2.532E-13	0.000E+00	1.992E-12	0.000E+00	1.567E-11	0.000E+00
2.596E-13	0.000E+00	2.043E-12	0.000E+00	1.607E-11	0.000E+00
2.662E-13	0.000E+00	2.095E-12	0.000E+00	1.648E-11	0.000E+00
2.730E-13	0.000E+00	2.148E-12	0.000E+00	1.690E-11	0.000E+00
2.800E-13	0.000E+00	2.203E-12	0.000E+00	1.733E-11	0.000E+00
2.871E-13	0.000E+00	2.259E-12	0.000E+00	1.777E-11	0.000E+00
2.944E-13	0.000E+00	2.316E-12	0.000E+00	1.822E-11	0.000E+00
3.019E-13	0.000E+00	2.375E-12	0.000E+00	1.869E-11	0.000E+00
3.096E-13	0.000E+00	2.436E-12	0.000E+00	1.916E-11	0.000E+00
3.175E-13	0.000E+00	2.498E-12	0.000E+00	1.965E-11	0.000E+00
3.256E-13	0.000E+00	2.562E-12	0.000E+00	2.015E-11	0.000E+00
3.339E-13	0.000E+00	2.627E-12	0.000E+00	2.067E-11	0.000E+00
3.424E-13	0.000E+00	2.694E-12	0.000E+00	2.119E-11	0.000E+00
3.511E-13	0.000E+00	2.762E-12	0.000E+00	2.173E-11	0.000E+00
3.601E-13	0.000E+00	2.833E-12	0.000E+00	2.229E-11	0.000E+00
3.692E-13	0.000E+00	2.905E-12	0.000E+00	2.285E-11	0.000E+00
3.786E-13	0.000E+00	2.979E-12	0.000E+00	2.344E-11	0.000E+00
3.883E-13	0.000E+00	3.055E-12	0.000E+00	2.403E-11	0.000E+00
3.982E-13	0.000E+00	3.133E-12	0.000E+00	2.465E-11	0.000E+00
4.083E-13	0.000E+00	3.212E-12	0.000E+00	2.527E-11	0.000E+00
4.187E-13	0.000E+00	3.294E-12	0.000E+00	2.592E-11	0.000E+00
4.294E-13	0.000E+00	3.378E-12	0.000E+00	2.658E-11	0.000E+00
4.403E-13	0.000E+00	3.464E-12	0.000E+00	2.725E-11	0.000E+00

2.795E-11	0.000E+00	2.199E-10	0.000E+00	1.730E-09	0.000E+00
2.866E-11	0.000E+00	2.255E-10	0.000E+00	1.774E-09	0.000E+00
2.939E-11	0.000E+00	2.312E-10	0.000E+00	1.819E-09	0.000E+00
3.014E-11	0.000E+00	2.371E-10	0.000E+00	1.865E-09	0.000E+00
3.091E-11	0.000E+00	2.432E-10	0.000E+00	1.913E-09	0.000E+00
3.169E-11	0.000E+00	2.493E-10	0.000E+00	1.962E-09	0.000E+00
3.250E-11	0.000E+00	2.557E-10	0.000E+00	2.012E-09	0.000E+00
3.333E-11	0.000E+00	2.622E-10	0.000E+00	2.063E-09	0.000E+00
3.418E-11	0.000E+00	2.689E-10	0.000E+00	2.115E-09	0.000E+00
3.505E-11	0.000E+00	2.757E-10	0.000E+00	2.169E-09	0.000E+00
3.594E-11	0.000E+00	2.828E-10	0.000E+00	2.225E-09	0.000E+00
3.686E-11	0.000E+00	2.900E-10	0.000E+00	2.281E-09	0.000E+00
3.780E-11	0.000E+00	2.974E-10	0.000E+00	2.339E-09	0.000E+00
3.876E-11	0.000E+00	3.049E-10	0.000E+00	2.399E-09	0.000E+00
3.975E-11	0.000E+00	3.127E-10	0.000E+00	2.460E-09	0.000E+00
4.076E-11	0.000E+00	3.207E-10	0.000E+00	2.523E-09	0.000E+00
4.180E-11	0.000E+00	3.288E-10	0.000E+00	2.587E-09	0.000E+00
4.286E-11	0.000E+00	3.372E-10	0.000E+00	2.653E-09	0.000E+00
4.395E-11	0.000E+00	3.458E-10	0.000E+00	2.720E-09	0.000E+00
4.507E-11	0.000E+00	3.546E-10	0.000E+00	2.790E-09	0.000E+00
4.622E-11	0.000E+00	3.636E-10	0.000E+00	2.861E-09	0.000E+00
4.740E-11	0.000E+00	3.729E-10	0.000E+00	2.934E-09	0.000E+00
4.861E-11	0.000E+00	3.824E-10	0.000E+00	3.008E-09	0.000E+00
4.984E-11	0.000E+00	3.921E-10	0.000E+00	3.085E-09	0.000E+00
5.111E-11	0.000E+00	4.021E-10	0.000E+00	3.164E-09	0.000E+00
5.242E-11	0.000E+00	4.124E-10	0.000E+00	3.244E-09	0.000E+00
5.375E-11	0.000E+00	4.229E-10	0.000E+00	3.327E-09	0.000E+00
5.512E-11	0.000E+00	4.336E-10	0.000E+00	3.412E-09	0.000E+00
5.652E-11	0.000E+00	4.447E-10	0.000E+00	3.499E-09	0.000E+00
5.796E-11	0.000E+00	4.560E-10	0.000E+00	3.588E-09	0.000E+00
5.944E-11	0.000E+00	4.676E-10	0.000E+00	3.679E-09	0.000E+00
6.096E-11	0.000E+00	4.796E-10	0.000E+00	3.773E-09	0.000E+00
6.251E-11	0.000E+00	4.918E-10	0.000E+00	3.869E-09	0.000E+00
6.410E-11	0.000E+00	5.043E-10	0.000E+00	3.967E-09	0.000E+00
6.573E-11	0.000E+00	5.171E-10	0.000E+00	4.069E-09	0.000E+00
6.741E-11	0.000E+00	5.303E-10	0.000E+00	4.172E-09	0.000E+00
6.912E-11	0.000E+00	5.438E-10	0.000E+00	4.278E-09	0.000E+00
7.089E-11	0.000E+00	5.577E-10	0.000E+00	4.387E-09	0.000E+00
7.269E-11	0.000E+00	5.719E-10	0.000E+00	4.499E-09	0.000E+00
7.454E-11	0.000E+00	5.865E-10	0.000E+00	4.614E-09	0.000E+00
7.644E-11	0.000E+00	6.014E-10	0.000E+00	4.731E-09	0.000E+00
7.839E-11	0.000E+00	6.167E-10	0.000E+00	4.852E-09	0.000E+00
8.039E-11	0.000E+00	6.324E-10	0.000E+00	4.975E-09	0.000E+00
8.243E-11	0.000E+00	6.485E-10	0.000E+00	5.102E-09	0.000E+00
8.453E-11	0.000E+00	6.651E-10	0.000E+00	5.232E-09	0.000E+00
8.669E-11	0.000E+00	6.820E-10	0.000E+00	5.365E-09	0.000E+00
8.890E-11	0.000E+00	6.994E-10	0.000E+00	5.502E-09	0.000E+00
9.116E-11	0.000E+00	7.172E-10	0.000E+00	5.642E-09	0.000E+00
9.348E-11	0.000E+00	7.355E-10	0.000E+00	5.786E-09	0.000E+00
9.586E-11	0.000E+00	7.542E-10	0.000E+00	5.933E-09	0.000E+00
9.831E-11	0.000E+00	7.734E-10	0.000E+00	6.085E-09	0.000E+00
1.008E-10	0.000E+00	7.931E-10	0.000E+00	6.240E-09	0.000E+00
1.034E-10	0.000E+00	8.133E-10	0.000E+00	6.398E-09	0.000E+00
1.060E-10	0.000E+00	8.340E-10	0.000E+00	6.561E-09	0.000E+00
1.087E-10	0.000E+00	8.553E-10	0.000E+00	6.729E-09	0.000E+00
1.115E-10	0.000E+00	8.771E-10	0.000E+00	6.900E-09	0.000E+00
1.143E-10	0.000E+00	8.994E-10	0.000E+00	7.076E-09	0.000E+00
1.172E-10	0.000E+00	9.223E-10	0.000E+00	7.256E-09	0.000E+00
1.202E-10	0.000E+00	9.458E-10	0.000E+00	7.441E-09	0.000E+00
1.233E-10	0.000E+00	9.699E-10	0.000E+00	7.630E-09	0.000E+00
1.264E-10	0.000E+00	9.946E-10	0.000E+00	7.825E-09	0.000E+00
1.296E-10	0.000E+00	1.020E-09	0.000E+00	8.024E-09	0.000E+00
1.330E-10	0.000E+00	1.046E-09	0.000E+00	8.229E-09	0.000E+00
1.363E-10	0.000E+00	1.073E-09	0.000E+00	8.438E-09	0.000E+00
1.398E-10	0.000E+00	1.100E-09	0.000E+00	8.653E-09	0.000E+00
1.434E-10	0.000E+00	1.128E-09	0.000E+00	8.874E-09	0.000E+00
1.470E-10	0.000E+00	1.157E-09	0.000E+00	9.100E-09	0.000E+00
1.508E-10	0.000E+00	1.186E-09	0.000E+00	9.331E-09	0.000E+00
1.546E-10	0.000E+00	1.216E-09	0.000E+00	9.569E-09	0.000E+00
1.585E-10	0.000E+00	1.247E-09	0.000E+00	9.813E-09	0.000E+00
1.626E-10	0.000E+00	1.279E-09	0.000E+00	1.006E-08	0.000E+00
1.667E-10	0.000E+00	1.312E-09	0.000E+00	1.032E-08	0.000E+00
1.710E-10	0.000E+00	1.345E-09	0.000E+00	1.058E-08	0.000E+00
1.753E-10	0.000E+00	1.379E-09	0.000E+00	1.085E-08	0.000E+00
1.798E-10	0.000E+00	1.415E-09	0.000E+00	1.113E-08	0.000E+00
1.844E-10	0.000E+00	1.451E-09	0.000E+00	1.141E-08	0.000E+00
1.891E-10	0.000E+00	1.488E-09	0.000E+00	1.170E-08	0.000E+00
1.939E-10	0.000E+00	1.525E-09	0.000E+00	1.200E-08	0.000E+00
1.988E-10	0.000E+00	1.564E-09	0.000E+00	1.231E-08	0.000E+00
2.039E-10	0.000E+00	1.604E-09	0.000E+00	1.262E-08	0.000E+00
2.091E-10	0.000E+00	1.645E-09	0.000E+00	1.294E-08	0.000E+00
2.144E-10	0.000E+00	1.687E-09	0.000E+00	1.327E-08	0.000E+00

1.361E-08	0.000E+00	1.071E-07	0.000E+00	8.423E-07	0.000E+00
1.396E-08	0.000E+00	1.098E-07	0.000E+00	8.638E-07	0.000E+00
1.431E-08	0.000E+00	1.126E-07	0.000E+00	8.858E-07	0.000E+00
1.468E-08	0.000E+00	1.155E-07	0.000E+00	9.083E-07	0.000E+00
1.505E-08	0.000E+00	1.184E-07	0.000E+00	9.315E-07	0.000E+00
1.543E-08	0.000E+00	1.214E-07	0.000E+00	9.552E-07	0.000E+00
1.583E-08	0.000E+00	1.245E-07	0.000E+00	9.795E-07	0.000E+00
1.623E-08	0.000E+00	1.277E-07	0.000E+00	1.005E-06	0.000E+00
1.664E-08	0.000E+00	1.309E-07	0.000E+00	1.030E-06	0.000E+00
1.707E-08	0.000E+00	1.343E-07	0.000E+00	1.056E-06	0.000E+00
1.750E-08	0.000E+00	1.377E-07	0.000E+00	1.083E-06	0.000E+00
1.795E-08	0.000E+00	1.412E-07	0.000E+00	1.111E-06	0.000E+00
1.840E-08	0.000E+00	1.448E-07	0.000E+00	1.139E-06	0.000E+00
1.887E-08	0.000E+00	1.485E-07	0.000E+00	1.168E-06	0.000E+00
1.935E-08	0.000E+00	1.523E-07	0.000E+00	1.198E-06	0.000E+00
1.985E-08	0.000E+00	1.561E-07	0.000E+00	1.228E-06	0.000E+00
2.035E-08	0.000E+00	1.601E-07	0.000E+00	1.260E-06	0.000E+00
2.087E-08	0.000E+00	1.642E-07	0.000E+00	1.292E-06	0.000E+00
2.140E-08	0.000E+00	1.684E-07	0.000E+00	1.325E-06	0.000E+00
2.195E-08	0.000E+00	1.727E-07	0.000E+00	1.358E-06	0.000E+00
2.251E-08	0.000E+00	1.771E-07	0.000E+00	1.393E-06	0.000E+00
2.308E-08	0.000E+00	1.816E-07	0.000E+00	1.429E-06	0.000E+00
2.367E-08	0.000E+00	1.862E-07	0.000E+00	1.465E-06	0.000E+00
2.427E-08	0.000E+00	1.909E-07	0.000E+00	1.502E-06	0.000E+00
2.489E-08	0.000E+00	1.958E-07	0.000E+00	1.541E-06	0.000E+00
2.552E-08	0.000E+00	2.008E-07	0.000E+00	1.580E-06	0.000E+00
2.617E-08	0.000E+00	2.059E-07	0.000E+00	1.620E-06	0.000E+00
2.684E-08	0.000E+00	2.112E-07	0.000E+00	1.661E-06	0.000E+00
2.752E-08	0.000E+00	2.165E-07	0.000E+00	1.704E-06	0.000E+00
2.823E-08	0.000E+00	2.221E-07	0.000E+00	1.747E-06	0.000E+00
2.894E-08	0.000E+00	2.277E-07	0.000E+00	1.791E-06	0.000E+00
2.968E-08	0.000E+00	2.335E-07	0.000E+00	1.837E-06	0.000E+00
3.044E-08	0.000E+00	2.395E-07	0.000E+00	1.884E-06	0.000E+00
3.121E-08	3.360E+06	2.456E-07	0.000E+00	1.932E-06	0.000E+00
3.201E-08	0.000E+00	2.518E-07	0.000E+00	1.981E-06	0.000E+00
3.282E-08	0.000E+00	2.582E-07	0.000E+00	2.032E-06	0.000E+00
3.366E-08	0.000E+00	2.648E-07	0.000E+00	2.083E-06	0.000E+00
3.452E-08	0.000E+00	2.716E-07	0.000E+00	2.136E-06	0.000E+00
3.540E-08	0.000E+00	2.785E-07	0.000E+00	2.191E-06	0.000E+00
3.630E-08	0.000E+00	2.856E-07	0.000E+00	2.247E-06	0.000E+00
3.722E-08	0.000E+00	2.928E-07	0.000E+00	2.304E-06	0.000E+00
3.817E-08	0.000E+00	3.003E-07	0.000E+00	2.363E-06	0.000E+00
3.914E-08	0.000E+00	3.080E-07	0.000E+00	2.423E-06	0.000E+00
4.014E-08	0.000E+00	3.158E-07	0.000E+00	2.484E-06	0.000E+00
4.116E-08	0.000E+00	3.238E-07	0.000E+00	2.548E-06	0.000E+00
4.221E-08	0.000E+00	3.321E-07	0.000E+00	2.613E-06	0.000E+00
4.329E-08	0.000E+00	3.405E-07	0.000E+00	2.679E-06	0.000E+00
4.439E-08	0.000E+00	3.492E-07	0.000E+00	2.747E-06	0.000E+00
4.552E-08	0.000E+00	3.581E-07	0.000E+00	2.817E-06	0.000E+00
4.668E-08	0.000E+00	3.672E-07	0.000E+00	2.889E-06	0.000E+00
4.787E-08	0.000E+00	3.766E-07	0.000E+00	2.963E-06	0.000E+00
4.909E-08	0.000E+00	3.862E-07	0.000E+00	3.038E-06	0.000E+00
5.034E-08	0.000E+00	3.960E-07	0.000E+00	3.116E-06	0.000E+00
5.162E-08	0.000E+00	4.061E-07	0.000E+00	3.195E-06	0.000E+00
5.294E-08	0.000E+00	4.165E-07	0.000E+00	3.276E-06	0.000E+00
5.428E-08	0.000E+00	4.271E-07	0.000E+00	3.360E-06	0.000E+00
5.567E-08	0.000E+00	4.379E-07	0.000E+00	3.445E-06	0.000E+00
5.709E-08	0.000E+00	4.491E-07	0.000E+00	3.533E-06	0.000E+00
5.854E-08	0.000E+00	4.605E-07	0.000E+00	3.623E-06	0.000E+00
6.003E-08	0.000E+00	4.723E-07	0.000E+00	3.716E-06	0.000E+00
6.156E-08	0.000E+00	4.843E-07	0.000E+00	3.810E-06	0.000E+00
6.313E-08	0.000E+00	4.966E-07	0.000E+00	3.907E-06	0.000E+00
6.474E-08	0.000E+00	5.093E-07	0.000E+00	4.007E-06	0.000E+00
6.639E-08	0.000E+00	5.223E-07	0.000E+00	4.109E-06	0.000E+00
6.808E-08	0.000E+00	5.356E-07	0.000E+00	4.214E-06	0.000E+00
6.981E-08	0.000E+00	5.492E-07	1.874E+07	4.321E-06	0.000E+00
7.159E-08	0.000E+00	5.632E-07	0.000E+00	4.431E-06	0.000E+00
7.341E-08	0.000E+00	5.776E-07	0.000E+00	4.544E-06	0.000E+00
7.528E-08	0.000E+00	5.923E-07	0.000E+00	4.660E-06	0.000E+00
7.720E-08	0.000E+00	6.074E-07	0.000E+00	4.778E-06	0.000E+00
7.917E-08	0.000E+00	6.228E-07	0.000E+00	4.900E-06	0.000E+00
8.118E-08	0.000E+00	6.387E-07	0.000E+00	5.025E-06	0.000E+00
8.325E-08	0.000E+00	6.550E-07	0.000E+00	5.153E-06	0.000E+00
8.537E-08	0.000E+00	6.716E-07	0.000E+00	5.284E-06	0.000E+00
8.755E-08	0.000E+00	6.888E-07	0.000E+00	5.419E-06	0.000E+00
8.978E-08	0.000E+00	7.063E-07	0.000E+00	5.557E-06	0.000E+00
9.206E-08	0.000E+00	7.243E-07	0.000E+00	5.698E-06	0.000E+00
9.441E-08	0.000E+00	7.427E-07	0.000E+00	5.843E-06	0.000E+00
9.681E-08	0.000E+00	7.617E-07	0.000E+00	5.992E-06	0.000E+00
9.928E-08	0.000E+00	7.811E-07	0.000E+00	6.145E-06	0.000E+00
1.018E-07	0.000E+00	8.010E-07	0.000E+00	6.301E-06	0.000E+00
1.044E-07	0.000E+00	8.214E-07	0.000E+00	6.462E-06	0.000E+00

6.627E-06	0.000E+00	5.213E-05	0.000E+00	4.101E-04	0.000E+00
6.795E-06	0.000E+00	5.346E-05	0.000E+00	4.206E-04	0.000E+00
6.968E-06	0.000E+00	5.482E-05	0.000E+00	4.313E-04	0.000E+00
7.146E-06	0.000E+00	5.622E-05	0.000E+00	4.423E-04	0.000E+00
7.328E-06	0.000E+00	5.765E-05	0.000E+00	4.536E-04	0.000E+00
7.515E-06	0.000E+00	5.912E-05	0.000E+00	4.651E-04	0.000E+00
7.706E-06	0.000E+00	6.063E-05	0.000E+00	4.770E-04	0.000E+00
7.902E-06	0.000E+00	6.217E-05	0.000E+00	4.891E-04	0.000E+00
8.104E-06	0.000E+00	6.375E-05	0.000E+00	5.016E-04	0.000E+00
8.310E-06	0.000E+00	6.538E-05	0.000E+00	5.143E-04	0.000E+00
8.522E-06	0.000E+00	6.704E-05	0.000E+00	5.275E-04	0.000E+00
8.739E-06	0.000E+00	6.875E-05	0.000E+00	5.409E-04	0.000E+00
8.962E-06	0.000E+00	7.050E-05	0.000E+00	5.547E-04	0.000E+00
9.190E-06	0.000E+00	7.230E-05	0.000E+00	5.688E-04	0.000E+00
9.424E-06	0.000E+00	7.414E-05	0.000E+00	5.833E-04	0.000E+00
9.664E-06	0.000E+00	7.603E-05	0.000E+00	5.981E-04	0.000E+00
9.910E-06	0.000E+00	7.797E-05	0.000E+00	6.134E-04	0.000E+00
1.016E-05	0.000E+00	7.995E-05	0.000E+00	6.290E-04	0.000E+00
1.042E-05	0.000E+00	8.199E-05	0.000E+00	6.450E-04	0.000E+00
1.069E-05	0.000E+00	8.408E-05	0.000E+00	6.615E-04	0.000E+00
1.096E-05	0.000E+00	8.622E-05	0.000E+00	6.783E-04	0.000E+00
1.124E-05	0.000E+00	8.842E-05	0.000E+00	6.956E-04	0.000E+00
1.153E-05	0.000E+00	9.067E-05	0.000E+00	7.133E-04	0.000E+00
1.182E-05	0.000E+00	9.298E-05	0.000E+00	7.315E-04	0.000E+00
1.212E-05	0.000E+00	9.535E-05	0.000E+00	7.501E-04	0.000E+00
1.243E-05	0.000E+00	9.777E-05	0.000E+00	7.692E-04	0.000E+00
1.275E-05	0.000E+00	1.003E-04	0.000E+00	7.888E-04	0.000E+00
1.307E-05	0.000E+00	1.028E-04	0.000E+00	8.089E-04	0.000E+00
1.340E-05	0.000E+00	1.054E-04	0.000E+00	8.295E-04	0.000E+00
1.374E-05	0.000E+00	1.081E-04	0.000E+00	8.506E-04	0.000E+00
1.409E-05	0.000E+00	1.109E-04	0.000E+00	8.723E-04	0.000E+00
1.445E-05	0.000E+00	1.137E-04	0.000E+00	8.945E-04	0.000E+00
1.482E-05	0.000E+00	1.166E-04	0.000E+00	9.173E-04	0.000E+00
1.520E-05	0.000E+00	1.196E-04	0.000E+00	9.407E-04	0.000E+00
1.559E-05	0.000E+00	1.226E-04	0.000E+00	9.647E-04	0.000E+00
1.598E-05	0.000E+00	1.257E-04	0.000E+00	9.892E-04	0.000E+00
1.639E-05	0.000E+00	1.289E-04	0.000E+00	1.014E-03	0.000E+00
1.681E-05	0.000E+00	1.322E-04	0.000E+00	1.040E-03	0.000E+00
1.724E-05	0.000E+00	1.356E-04	0.000E+00	1.067E-03	0.000E+00
1.767E-05	0.000E+00	1.391E-04	0.000E+00	1.094E-03	0.000E+00
1.813E-05	0.000E+00	1.426E-04	0.000E+00	1.122E-03	0.000E+00
1.859E-05	0.000E+00	1.462E-04	0.000E+00	1.150E-03	0.000E+00
1.906E-05	0.000E+00	1.500E-04	0.000E+00	1.180E-03	0.000E+00
1.955E-05	0.000E+00	1.538E-04	0.000E+00	1.210E-03	0.000E+00
2.004E-05	0.000E+00	1.577E-04	0.000E+00	1.241E-03	0.000E+00
2.055E-05	0.000E+00	1.617E-04	0.000E+00	1.272E-03	0.000E+00
2.108E-05	0.000E+00	1.658E-04	0.000E+00	1.305E-03	0.000E+00
2.161E-05	0.000E+00	1.701E-04	0.000E+00	1.338E-03	0.000E+00
2.217E-05	1.823E+07	1.744E-04	0.000E+00	1.372E-03	0.000E+00
2.273E-05	0.000E+00	1.788E-04	0.000E+00	1.407E-03	0.000E+00
2.331E-05	0.000E+00	1.834E-04	0.000E+00	1.443E-03	0.000E+00
2.390E-05	0.000E+00	1.881E-04	0.000E+00	1.479E-03	0.000E+00
2.451E-05	0.000E+00	1.928E-04	0.000E+00	1.517E-03	0.000E+00
2.514E-05	0.000E+00	1.978E-04	0.000E+00	1.556E-03	0.000E+00
2.578E-05	0.000E+00	2.028E-04	0.000E+00	1.595E-03	0.000E+00
2.643E-05	1.624E+07	2.080E-04	0.000E+00	1.636E-03	0.000E+00
2.711E-05	0.000E+00	2.133E-04	0.000E+00	1.678E-03	0.000E+00
2.780E-05	0.000E+00	2.187E-04	0.000E+00	1.720E-03	0.000E+00
2.851E-05	0.000E+00	2.243E-04	0.000E+00	1.764E-03	0.000E+00
2.923E-05	0.000E+00	2.300E-04	0.000E+00	1.809E-03	0.000E+00
2.998E-05	0.000E+00	2.358E-04	0.000E+00	1.855E-03	0.000E+00
3.074E-05	0.000E+00	2.418E-04	0.000E+00	1.903E-03	0.000E+00
3.152E-05	0.000E+00	2.480E-04	0.000E+00	1.951E-03	0.000E+00
3.233E-05	0.000E+00	2.543E-04	0.000E+00	2.001E-03	0.000E+00
3.315E-05	0.000E+00	2.608E-04	0.000E+00	2.052E-03	0.000E+00
3.399E-05	0.000E+00	2.674E-04	0.000E+00	2.104E-03	0.000E+00
3.486E-05	0.000E+00	2.742E-04	0.000E+00	2.158E-03	0.000E+00
3.575E-05	0.000E+00	2.812E-04	0.000E+00	2.213E-03	0.000E+00
3.666E-05	0.000E+00	2.884E-04	0.000E+00	2.269E-03	0.000E+00
3.759E-05	0.000E+00	2.957E-04	0.000E+00	2.327E-03	0.000E+00
3.855E-05	0.000E+00	3.033E-04	0.000E+00	2.386E-03	0.000E+00
3.953E-05	0.000E+00	3.110E-04	0.000E+00	2.447E-03	0.000E+00
4.054E-05	0.000E+00	3.189E-04	0.000E+00	2.509E-03	0.000E+00
4.157E-05	0.000E+00	3.271E-04	0.000E+00	2.573E-03	0.000E+00
4.263E-05	0.000E+00	3.354E-04	0.000E+00	2.639E-03	0.000E+00
4.372E-05	0.000E+00	3.439E-04	0.000E+00	2.706E-03	0.000E+00
4.483E-05	0.000E+00	3.527E-04	0.000E+00	2.775E-03	0.000E+00
4.597E-05	0.000E+00	3.617E-04	0.000E+00	2.845E-03	0.000E+00
4.714E-05	0.000E+00	3.709E-04	0.000E+00	2.918E-03	0.000E+00
4.834E-05	0.000E+00	3.803E-04	0.000E+00	2.992E-03	0.000E+00
4.958E-05	0.000E+00	3.900E-04	0.000E+00	3.068E-03	0.000E+00
5.084E-05	0.000E+00	4.000E-04	0.000E+00	3.147E-03	0.000E+00

3.227E-03	0.000E+00	2.539E-02	0.000E+00	1.997E-01	0.000E+00
3.309E-03	0.000E+00	2.603E-02	0.000E+00	2.048E-01	0.000E+00
3.393E-03	0.000E+00	2.670E-02	0.000E+00	2.100E-01	0.000E+00
3.480E-03	0.000E+00	2.738E-02	0.000E+00	2.154E-01	0.000E+00
3.568E-03	0.000E+00	2.807E-02	0.000E+00	2.209E-01	0.000E+00
3.659E-03	0.000E+00	2.879E-02	0.000E+00	2.265E-01	0.000E+00
3.752E-03	0.000E+00	2.952E-02	0.000E+00	2.323E-01	0.000E+00
3.848E-03	0.000E+00	3.027E-02	0.000E+00	2.382E-01	0.000E+00
3.946E-03	0.000E+00	3.104E-02	0.000E+00	2.442E-01	0.000E+00
4.047E-03	0.000E+00	3.184E-02	0.000E+00	2.505E-01	0.000E+00
4.150E-03	0.000E+00	3.265E-02	0.000E+00	2.568E-01	0.000E+00
4.255E-03	0.000E+00	3.348E-02	0.000E+00	2.634E-01	0.000E+00
4.364E-03	0.000E+00	3.433E-02	0.000E+00	2.701E-01	0.000E+00
4.475E-03	0.000E+00	3.521E-02	0.000E+00	2.770E-01	0.000E+00
4.589E-03	0.000E+00	3.610E-02	0.000E+00	2.840E-01	0.000E+00
4.706E-03	0.000E+00	3.702E-02	0.000E+00	2.913E-01	0.000E+00
4.826E-03	0.000E+00	3.796E-02	0.000E+00	2.987E-01	0.000E+00
4.949E-03	0.000E+00	3.893E-02	0.000E+00	3.063E-01	0.000E+00
5.075E-03	0.000E+00	3.992E-02	0.000E+00	3.141E-01	0.000E+00
5.204E-03	0.000E+00	4.094E-02	0.000E+00	3.221E-01	0.000E+00
5.336E-03	0.000E+00	4.198E-02	0.000E+00	3.303E-01	0.000E+00
5.472E-03	0.000E+00	4.305E-02	0.000E+00	3.387E-01	1.196E+07
5.612E-03	7.398E+06	4.415E-02	0.000E+00	3.473E-01	0.000E+00
5.755E-03	0.000E+00	4.527E-02	0.000E+00	3.562E-01	0.000E+00
5.901E-03	0.000E+00	4.643E-02	0.000E+00	3.653E-01	0.000E+00
6.052E-03	0.000E+00	4.761E-02	0.000E+00	3.746E-01	0.000E+00
6.206E-03	0.000E+00	4.882E-02	0.000E+00	3.841E-01	0.000E+00
6.364E-03	0.000E+00	5.007E-02	0.000E+00	3.939E-01	0.000E+00
6.526E-03	0.000E+00	5.134E-02	0.000E+00	4.039E-01	0.000E+00
6.692E-03	0.000E+00	5.265E-02	0.000E+00	4.142E-01	0.000E+00
6.863E-03	0.000E+00	5.399E-02	0.000E+00	4.248E-01	0.000E+00
7.038E-03	0.000E+00	5.537E-02	0.000E+00	4.356E-01	0.000E+00
7.217E-03	0.000E+00	5.678E-02	0.000E+00	4.467E-01	0.000E+00
7.401E-03	0.000E+00	5.822E-02	0.000E+00	4.581E-01	0.000E+00
7.589E-03	0.000E+00	5.971E-02	0.000E+00	4.697E-01	0.000E+00
7.783E-03	0.000E+00	6.123E-02	0.000E+00	4.817E-01	0.000E+00
7.981E-03	0.000E+00	6.279E-02	0.000E+00	4.940E-01	0.000E+00
8.184E-03	0.000E+00	6.439E-02	0.000E+00	5.065E-01	0.000E+00
8.393E-03	0.000E+00	6.603E-02	0.000E+00	5.195E-01	0.000E+00
8.606E-03	0.000E+00	6.771E-02	0.000E+00	5.327E-01	0.000E+00
8.826E-03	0.000E+00	6.943E-02	0.000E+00	5.463E-01	0.000E+00
9.050E-03	0.000E+00	7.120E-02	0.000E+00	5.602E-01	0.000E+00
9.281E-03	0.000E+00	7.302E-02	0.000E+00	5.744E-01	0.000E+00
9.517E-03	0.000E+00	7.488E-02	0.000E+00	5.891E-01	0.000E+00
9.760E-03	0.000E+00	7.678E-02	0.000E+00	6.041E-01	0.000E+00
1.001E-02	0.000E+00	7.874E-02	0.000E+00	6.195E-01	0.000E+00
1.026E-02	0.000E+00	8.075E-02	0.000E+00	6.352E-01	0.000E+00
1.053E-02	0.000E+00	8.280E-02	0.000E+00	6.514E-01	0.000E+00
1.079E-02	0.000E+00	8.491E-02	0.000E+00	6.680E-01	0.000E+00
1.107E-02	0.000E+00	8.707E-02	0.000E+00	6.850E-01	0.000E+00
1.135E-02	0.000E+00	8.929E-02	0.000E+00	7.025E-01	0.000E+00
1.164E-02	0.000E+00	9.157E-02	0.000E+00	7.204E-01	0.000E+00
1.194E-02	0.000E+00	9.390E-02	0.000E+00	7.387E-01	0.000E+00
1.224E-02	0.000E+00	9.629E-02	0.000E+00	7.576E-01	0.000E+00
1.255E-02	0.000E+00	9.874E-02	0.000E+00	7.769E-01	0.000E+00
1.287E-02	0.000E+00	1.013E-01	0.000E+00	7.966E-01	0.000E+00
1.320E-02	0.000E+00	1.038E-01	0.000E+00	8.169E-01	0.000E+00
1.354E-02	0.000E+00	1.065E-01	0.000E+00	8.377E-01	0.000E+00
1.388E-02	0.000E+00	1.092E-01	0.000E+00	8.591E-01	0.000E+00
1.423E-02	0.000E+00	1.120E-01	0.000E+00	8.810E-01	0.000E+00
1.460E-02	0.000E+00	1.148E-01	0.000E+00	9.034E-01	0.000E+00
1.497E-02	0.000E+00	1.178E-01	0.000E+00	9.264E-01	0.000E+00
1.535E-02	0.000E+00	1.208E-01	0.000E+00	9.500E-01	0.000E+00
1.574E-02	0.000E+00	1.238E-01	0.000E+00	9.742E-01	0.000E+00
1.614E-02	0.000E+00	1.270E-01	0.000E+00	9.990E-01	0.000E+00
1.655E-02	0.000E+00	1.302E-01	0.000E+00	1.025E+00	0.000E+00
1.697E-02	0.000E+00	1.335E-01	0.000E+00	1.051E+00	0.000E+00
1.741E-02	0.000E+00	1.369E-01	0.000E+00	1.077E+00	0.000E+00
1.785E-02	0.000E+00	1.404E-01	0.000E+00	1.105E+00	3.126E+07
1.830E-02	0.000E+00	1.440E-01	0.000E+00	1.133E+00	0.000E+00
1.877E-02	0.000E+00	1.477E-01	0.000E+00	1.162E+00	0.000E+00
1.925E-02	0.000E+00	1.514E-01	0.000E+00	1.191E+00	0.000E+00
1.974E-02	0.000E+00	1.553E-01	0.000E+00	1.222E+00	0.000E+00
2.024E-02	0.000E+00	1.593E-01	0.000E+00	1.253E+00	2.216E+07
2.076E-02	0.000E+00	1.633E-01	0.000E+00	1.285E+00	0.000E+00
2.129E-02	0.000E+00	1.675E-01	0.000E+00	1.318E+00	0.000E+00
2.183E-02	0.000E+00	1.717E-01	0.000E+00	1.351E+00	0.000E+00
2.239E-02	0.000E+00	1.761E-01	0.000E+00	1.386E+00	0.000E+00
2.296E-02	0.000E+00	1.806E-01	0.000E+00	1.421E+00	0.000E+00
2.354E-02	0.000E+00	1.852E-01	0.000E+00	1.457E+00	0.000E+00
2.414E-02	0.000E+00	1.899E-01	0.000E+00	1.494E+00	0.000E+00
2.475E-02	0.000E+00	1.948E-01	0.000E+00	1.532E+00	0.000E+00

1.571E+00 0.000E+00	1.236E+01 0.000E+00	2.601E-15 0.E+00
1.611E+00 0.000E+00	1.268E+01 0.000E+00	2.667E-15 0.E+00
1.652E+00 0.000E+00	1.300E+01 0.000E+00	2.735E-15 0.E+00
1.694E+00 0.000E+00	1.333E+01 0.000E+00	2.805E-15 0.E+00
1.738E+00 0.000E+00	1.367E+01 0.000E+00	2.876E-15 0.E+00
1.782E+00 0.000E+00	1.402E+01 0.000E+00	2.950E-15 0.E+00
1.827E+00 0.000E+00	1.438E+01 0.000E+00	3.025E-15 0.E+00
1.874E+00 0.000E+00	1.474E+01 0.000E+00	3.102E-15 0.E+00
1.921E+00 0.000E+00	1.512E+01 0.000E+00	3.181E-15 0.E+00
1.970E+00 0.000E+00	1.550E+01 0.000E+00	3.262E-15 0.E+00
2.021E+00 0.000E+00	1.590E+01 0.000E+00	3.345E-15 0.E+00
2.072E+00 0.000E+00	1.630E+01 0.000E+00	3.430E-15 0.E+00
2.125E+00 0.000E+00	1.672E+01 0.000E+00	3.518E-15 0.E+00
2.179E+00 1.710E+07	1.714E+01 0.000E+00	3.607E-15 0.E+00
2.235E+00 0.000E+00	1.758E+01 0.000E+00	3.699E-15 0.E+00
2.291E+00 2.153E+07	1.803E+01 0.000E+00	3.793E-15 0.E+00
2.350E+00 0.000E+00	1.849E+01 0.000E+00	3.890E-15 0.E+00
2.410E+00 0.000E+00	1.896E+01 0.000E+00	3.989E-15 0.E+00
2.471E+00 0.000E+00	1.944E+01 0.000E+00	4.091E-15 0.E+00
2.534E+00 0.000E+00	1.994E+01 0.000E+00	4.195E-15 0.E+00
2.599E+00 0.000E+00	2.044E+01 0.000E+00	4.302E-15 0.E+00
2.665E+00 0.000E+00	2.096E+01 0.000E+00	4.411E-15 0.E+00
2.733E+00 0.000E+00	2.150E+01 0.000E+00	4.524E-15 0.E+00
2.802E+00 0.000E+00	2.205E+01 0.000E+00	4.639E-15 0.E+00
2.874E+00 0.000E+00	2.261E+01 0.000E+00	4.757E-15 0.E+00
2.947E+00 0.000E+00	2.318E+01 0.000E+00	4.878E-15 0.E+00
3.022E+00 0.000E+00	2.377E+01 0.000E+00	5.002E-15 0.E+00
3.099E+00 0.000E+00	2.438E+01 0.000E+00	5.130E-15 0.E+00
3.178E+00 0.000E+00	2.500E+01 0.000E+00	5.261E-15 0.E+00
3.259E+00 0.000E+00		5.395E-15 0.E+00
3.342E+00 0.000E+00	<source> = 1.0	5.532E-15 0.E+00
3.427E+00 0.000E+00	totfact = 1.5**2*pi	5.673E-15 0.E+00
3.514E+00 0.000E+00	s-type = 4 # mono-energetic	5.817E-15 0.E+00
3.604E+00 0.000E+00	axial source	5.966E-15 0.E+00
3.695E+00 0.000E+00	proj = photon # kind of incident	6.118E-15 0.E+00
3.790E+00 0.000E+00	particle	6.273E-15 0.E+00
3.886E+00 0.000E+00	r0 = 1.5 # radius [cm]	6.433E-15 0.E+00
3.985E+00 0.000E+00	z0 = 0	6.597E-15 0.E+00
4.087E+00 0.000E+00	z1 = 0	6.765E-15 0.E+00
4.191E+00 0.000E+00	trcl = 1	6.938E-15 0.E+00
4.298E+00 0.000E+00	dir = 1. # z-direction of beam	7.114E-15 0.E+00
4.407E+00 0.000E+00	[cosine]	7.295E-15 0.E+00
4.519E+00 0.000E+00	e-type = 8	7.481E-15 0.E+00
4.634E+00 0.000E+00	ne = 1502	7.672E-15 0.E+00
4.752E+00 0.000E+00		7.867E-15 0.E+00
4.873E+00 0.000E+00	1.000E-15 0.E+00	8.068E-15 0.E+00
4.998E+00 0.000E+00	1.026E-15 0.E+00	8.273E-15 0.E+00
5.125E+00 0.000E+00	1.052E-15 0.E+00	8.484E-15 0.E+00
5.256E+00 0.000E+00	1.078E-15 0.E+00	8.700E-15 0.E+00
5.389E+00 0.000E+00	1.106E-15 0.E+00	8.922E-15 0.E+00
5.527E+00 0.000E+00	1.134E-15 0.E+00	9.149E-15 0.E+00
5.667E+00 0.000E+00	1.163E-15 0.E+00	9.382E-15 0.E+00
5.812E+00 0.000E+00	1.193E-15 0.E+00	9.621E-15 0.E+00
5.960E+00 0.000E+00	1.223E-15 0.E+00	9.866E-15 0.E+00
6.112E+00 0.000E+00	1.254E-15 0.E+00	1.012E-14 0.E+00
6.267E+00 0.000E+00	1.286E-15 0.E+00	1.038E-14 0.E+00
6.427E+00 0.000E+00	1.319E-15 0.E+00	1.064E-14 0.E+00
6.591E+00 0.000E+00	1.352E-15 0.E+00	1.091E-14 0.E+00
6.759E+00 0.000E+00	1.387E-15 0.E+00	1.119E-14 0.E+00
6.931E+00 0.000E+00	1.422E-15 0.E+00	1.147E-14 0.E+00
7.107E+00 0.000E+00	1.458E-15 0.E+00	1.177E-14 0.E+00
7.288E+00 0.000E+00	1.496E-15 0.E+00	1.207E-14 0.E+00
7.474E+00 0.000E+00	1.534E-15 0.E+00	1.237E-14 0.E+00
7.664E+00 0.000E+00	1.573E-15 0.E+00	1.269E-14 0.E+00
7.860E+00 0.000E+00	1.613E-15 0.E+00	1.301E-14 0.E+00
8.060E+00 0.000E+00	1.654E-15 0.E+00	1.334E-14 0.E+00
8.265E+00 0.000E+00	1.696E-15 0.E+00	1.368E-14 0.E+00
8.476E+00 0.000E+00	1.739E-15 0.E+00	1.403E-14 0.E+00
8.692E+00 0.000E+00	1.784E-15 0.E+00	1.439E-14 0.E+00
8.913E+00 0.000E+00	1.829E-15 0.E+00	1.476E-14 0.E+00
9.140E+00 0.000E+00	1.876E-15 0.E+00	1.513E-14 0.E+00
9.373E+00 0.000E+00	1.923E-15 0.E+00	1.552E-14 0.E+00
9.612E+00 0.000E+00	1.972E-15 0.E+00	1.591E-14 0.E+00
9.857E+00 1.587E+07	2.023E-15 0.E+00	1.632E-14 0.E+00
1.011E+01 0.000E+00	2.074E-15 0.E+00	1.673E-14 0.E+00
1.037E+01 0.000E+00	2.127E-15 0.E+00	1.716E-14 0.E+00
1.063E+01 0.000E+00	2.181E-15 0.E+00	1.760E-14 0.E+00
1.090E+01 0.000E+00	2.237E-15 0.E+00	1.804E-14 0.E+00
1.118E+01 0.000E+00	2.294E-15 0.E+00	1.850E-14 0.E+00
1.146E+01 0.000E+00	2.352E-15 0.E+00	1.898E-14 0.E+00
1.175E+01 0.000E+00	2.412E-15 0.E+00	1.946E-14 0.E+00
1.205E+01 0.000E+00	2.473E-15 0.E+00	1.995E-14 0.E+00
	2.536E-15 0.E+00	

2.046E-14	0.E+00	1.610E-13	0.E+00	1.267E-12	0.E+00
2.098E-14	0.E+00	1.651E-13	0.E+00	1.299E-12	0.E+00
2.152E-14	0.E+00	1.693E-13	0.E+00	1.332E-12	0.E+00
2.207E-14	0.E+00	1.736E-13	0.E+00	1.366E-12	0.E+00
2.263E-14	0.E+00	1.780E-13	0.E+00	1.401E-12	0.E+00
2.321E-14	0.E+00	1.826E-13	0.E+00	1.436E-12	0.E+00
2.380E-14	0.E+00	1.872E-13	0.E+00	1.473E-12	0.E+00
2.440E-14	0.E+00	1.920E-13	0.E+00	1.510E-12	0.E+00
2.502E-14	0.E+00	1.969E-13	0.E+00	1.549E-12	0.E+00
2.566E-14	0.E+00	2.019E-13	0.E+00	1.588E-12	0.E+00
2.632E-14	0.E+00	2.070E-13	0.E+00	1.629E-12	0.E+00
2.699E-14	0.E+00	2.123E-13	0.E+00	1.670E-12	0.E+00
2.767E-14	0.E+00	2.177E-13	0.E+00	1.713E-12	0.E+00
2.838E-14	0.E+00	2.233E-13	0.E+00	1.756E-12	0.E+00
2.910E-14	0.E+00	2.289E-13	0.E+00	1.801E-12	0.E+00
2.984E-14	0.E+00	2.348E-13	0.E+00	1.847E-12	0.E+00
3.060E-14	0.E+00	2.408E-13	0.E+00	1.894E-12	0.E+00
3.138E-14	0.E+00	2.469E-13	0.E+00	1.942E-12	0.E+00
3.218E-14	0.E+00	2.532E-13	0.E+00	1.992E-12	0.E+00
3.300E-14	0.E+00	2.596E-13	0.E+00	2.043E-12	0.E+00
3.384E-14	0.E+00	2.662E-13	0.E+00	2.095E-12	0.E+00
3.470E-14	0.E+00	2.730E-13	0.E+00	2.148E-12	0.E+00
3.559E-14	0.E+00	2.800E-13	0.E+00	2.203E-12	0.E+00
3.650E-14	0.E+00	2.871E-13	0.E+00	2.259E-12	0.E+00
3.742E-14	0.E+00	2.944E-13	0.E+00	2.316E-12	0.E+00
3.838E-14	0.E+00	3.019E-13	0.E+00	2.375E-12	0.E+00
3.936E-14	0.E+00	3.096E-13	0.E+00	2.436E-12	0.E+00
4.036E-14	0.E+00	3.175E-13	0.E+00	2.498E-12	0.E+00
4.139E-14	0.E+00	3.256E-13	0.E+00	2.562E-12	0.E+00
4.244E-14	0.E+00	3.339E-13	0.E+00	2.627E-12	0.E+00
4.352E-14	0.E+00	3.424E-13	0.E+00	2.694E-12	0.E+00
4.463E-14	0.E+00	3.511E-13	0.E+00	2.762E-12	0.E+00
4.577E-14	0.E+00	3.601E-13	0.E+00	2.833E-12	0.E+00
4.693E-14	0.E+00	3.692E-13	0.E+00	2.905E-12	0.E+00
4.813E-14	0.E+00	3.786E-13	0.E+00	2.979E-12	0.E+00
4.935E-14	0.E+00	3.883E-13	0.E+00	3.055E-12	0.E+00
5.061E-14	0.E+00	3.982E-13	0.E+00	3.133E-12	0.E+00
5.190E-14	0.E+00	4.083E-13	0.E+00	3.212E-12	0.E+00
5.322E-14	0.E+00	4.187E-13	0.E+00	3.294E-12	0.E+00
5.458E-14	0.E+00	4.294E-13	0.E+00	3.378E-12	0.E+00
5.597E-14	0.E+00	4.403E-13	0.E+00	3.464E-12	0.E+00
5.740E-14	0.E+00	4.515E-13	0.E+00	3.552E-12	0.E+00
5.886E-14	0.E+00	4.630E-13	0.E+00	3.643E-12	0.E+00
6.036E-14	0.E+00	4.748E-13	0.E+00	3.736E-12	0.E+00
6.189E-14	0.E+00	4.869E-13	0.E+00	3.831E-12	0.E+00
6.347E-14	0.E+00	4.993E-13	0.E+00	3.928E-12	0.E+00
6.509E-14	0.E+00	5.121E-13	0.E+00	4.029E-12	0.E+00
6.675E-14	0.E+00	5.251E-13	0.E+00	4.131E-12	0.E+00
6.845E-14	0.E+00	5.385E-13	0.E+00	4.236E-12	0.E+00
7.019E-14	0.E+00	5.522E-13	0.E+00	4.344E-12	0.E+00
7.198E-14	0.E+00	5.663E-13	0.E+00	4.455E-12	0.E+00
7.381E-14	0.E+00	5.807E-13	0.E+00	4.568E-12	0.E+00
7.569E-14	0.E+00	5.955E-13	0.E+00	4.685E-12	0.E+00
7.762E-14	0.E+00	6.107E-13	0.E+00	4.804E-12	0.E+00
7.960E-14	0.E+00	6.262E-13	0.E+00	4.927E-12	0.E+00
8.162E-14	0.E+00	6.422E-13	0.E+00	5.052E-12	0.E+00
8.370E-14	0.E+00	6.585E-13	0.E+00	5.181E-12	0.E+00
8.584E-14	0.E+00	6.753E-13	0.E+00	5.313E-12	0.E+00
8.802E-14	0.E+00	6.925E-13	0.E+00	5.448E-12	0.E+00
9.027E-14	0.E+00	7.101E-13	0.E+00	5.587E-12	0.E+00
9.256E-14	0.E+00	7.282E-13	0.E+00	5.729E-12	0.E+00
9.492E-14	0.E+00	7.468E-13	0.E+00	5.875E-12	0.E+00
9.734E-14	0.E+00	7.658E-13	0.E+00	6.025E-12	0.E+00
9.982E-14	0.E+00	7.853E-13	0.E+00	6.178E-12	0.E+00
1.024E-13	0.E+00	8.053E-13	0.E+00	6.336E-12	0.E+00
1.050E-13	0.E+00	8.258E-13	0.E+00	6.497E-12	0.E+00
1.076E-13	0.E+00	8.469E-13	0.E+00	6.663E-12	0.E+00
1.104E-13	0.E+00	8.684E-13	0.E+00	6.832E-12	0.E+00
1.132E-13	0.E+00	8.906E-13	0.E+00	7.006E-12	0.E+00
1.161E-13	0.E+00	9.133E-13	0.E+00	7.185E-12	0.E+00
1.190E-13	0.E+00	9.365E-13	0.E+00	7.368E-12	0.E+00
1.221E-13	0.E+00	9.604E-13	0.E+00	7.555E-12	0.E+00
1.252E-13	0.E+00	9.848E-13	0.E+00	7.748E-12	0.E+00
1.284E-13	0.E+00	1.010E-12	0.E+00	7.945E-12	0.E+00
1.316E-13	0.E+00	1.036E-12	0.E+00	8.148E-12	0.E+00
1.350E-13	0.E+00	1.062E-12	0.E+00	8.355E-12	0.E+00
1.384E-13	0.E+00	1.089E-12	0.E+00	8.568E-12	0.E+00
1.420E-13	0.E+00	1.117E-12	0.E+00	8.786E-12	0.E+00
1.456E-13	0.E+00	1.145E-12	0.E+00	9.010E-12	0.E+00
1.493E-13	0.E+00	1.174E-12	0.E+00	9.240E-12	0.E+00
1.531E-13	0.E+00	1.204E-12	0.E+00	9.475E-12	0.E+00
1.570E-13	0.E+00	1.235E-12	0.E+00	9.716E-12	0.E+00

9.964E-12	0.E+00	7.839E-11	0.E+00	6.167E-10	0.E+00
1.022E-11	0.E+00	8.039E-11	0.E+00	6.324E-10	0.E+00
1.048E-11	0.E+00	8.243E-11	0.E+00	6.485E-10	0.E+00
1.075E-11	0.E+00	8.453E-11	0.E+00	6.651E-10	0.E+00
1.102E-11	0.E+00	8.669E-11	0.E+00	6.820E-10	0.E+00
1.130E-11	0.E+00	8.890E-11	0.E+00	6.994E-10	0.E+00
1.159E-11	0.E+00	9.116E-11	0.E+00	7.172E-10	0.E+00
1.188E-11	0.E+00	9.348E-11	0.E+00	7.355E-10	0.E+00
1.219E-11	0.E+00	9.586E-11	0.E+00	7.542E-10	0.E+00
1.250E-11	0.E+00	9.831E-11	0.E+00	7.734E-10	0.E+00
1.281E-11	0.E+00	1.008E-10	0.E+00	7.931E-10	0.E+00
1.314E-11	0.E+00	1.034E-10	0.E+00	8.133E-10	0.E+00
1.348E-11	0.E+00	1.060E-10	0.E+00	8.340E-10	0.E+00
1.382E-11	0.E+00	1.087E-10	0.E+00	8.553E-10	0.E+00
1.417E-11	0.E+00	1.115E-10	0.E+00	8.771E-10	0.E+00
1.453E-11	0.E+00	1.143E-10	0.E+00	8.994E-10	0.E+00
1.490E-11	0.E+00	1.172E-10	0.E+00	9.223E-10	0.E+00
1.528E-11	0.E+00	1.202E-10	0.E+00	9.458E-10	0.E+00
1.567E-11	0.E+00	1.233E-10	0.E+00	9.699E-10	0.E+00
1.607E-11	0.E+00	1.264E-10	0.E+00	9.946E-10	0.E+00
1.648E-11	0.E+00	1.296E-10	0.E+00	1.020E-09	0.E+00
1.690E-11	0.E+00	1.330E-10	0.E+00	1.046E-09	0.E+00
1.733E-11	0.E+00	1.363E-10	0.E+00	1.073E-09	0.E+00
1.777E-11	0.E+00	1.398E-10	0.E+00	1.100E-09	0.E+00
1.822E-11	0.E+00	1.434E-10	0.E+00	1.128E-09	0.E+00
1.869E-11	0.E+00	1.470E-10	0.E+00	1.157E-09	0.E+00
1.916E-11	0.E+00	1.508E-10	0.E+00	1.186E-09	0.E+00
1.965E-11	0.E+00	1.546E-10	0.E+00	1.216E-09	0.E+00
2.015E-11	0.E+00	1.585E-10	0.E+00	1.247E-09	0.E+00
2.067E-11	0.E+00	1.626E-10	0.E+00	1.279E-09	0.E+00
2.119E-11	0.E+00	1.667E-10	0.E+00	1.312E-09	0.E+00
2.173E-11	0.E+00	1.710E-10	0.E+00	1.345E-09	0.E+00
2.229E-11	0.E+00	1.753E-10	0.E+00	1.379E-09	0.E+00
2.285E-11	0.E+00	1.798E-10	0.E+00	1.415E-09	0.E+00
2.344E-11	0.E+00	1.844E-10	0.E+00	1.451E-09	0.E+00
2.403E-11	0.E+00	1.891E-10	0.E+00	1.488E-09	0.E+00
2.465E-11	0.E+00	1.939E-10	0.E+00	1.525E-09	0.E+00
2.527E-11	0.E+00	1.988E-10	0.E+00	1.564E-09	0.E+00
2.592E-11	0.E+00	2.039E-10	0.E+00	1.604E-09	0.E+00
2.658E-11	0.E+00	2.091E-10	0.E+00	1.645E-09	0.E+00
2.725E-11	0.E+00	2.144E-10	0.E+00	1.687E-09	0.E+00
2.795E-11	0.E+00	2.199E-10	0.E+00	1.730E-09	0.E+00
2.866E-11	0.E+00	2.255E-10	0.E+00	1.774E-09	0.E+00
2.939E-11	0.E+00	2.312E-10	0.E+00	1.819E-09	0.E+00
3.014E-11	0.E+00	2.371E-10	0.E+00	1.865E-09	0.E+00
3.091E-11	0.E+00	2.432E-10	0.E+00	1.913E-09	0.E+00
3.169E-11	0.E+00	2.493E-10	0.E+00	1.962E-09	0.E+00
3.250E-11	0.E+00	2.557E-10	0.E+00	2.012E-09	0.E+00
3.333E-11	0.E+00	2.622E-10	0.E+00	2.063E-09	0.E+00
3.418E-11	0.E+00	2.689E-10	0.E+00	2.115E-09	0.E+00
3.505E-11	0.E+00	2.757E-10	0.E+00	2.169E-09	0.E+00
3.594E-11	0.E+00	2.828E-10	0.E+00	2.225E-09	0.E+00
3.686E-11	0.E+00	2.900E-10	0.E+00	2.281E-09	0.E+00
3.780E-11	0.E+00	2.974E-10	0.E+00	2.339E-09	0.E+00
3.876E-11	0.E+00	3.049E-10	0.E+00	2.399E-09	0.E+00
3.975E-11	0.E+00	3.127E-10	0.E+00	2.460E-09	0.E+00
4.076E-11	0.E+00	3.207E-10	0.E+00	2.523E-09	0.E+00
4.180E-11	0.E+00	3.288E-10	0.E+00	2.587E-09	0.E+00
4.286E-11	0.E+00	3.372E-10	0.E+00	2.653E-09	0.E+00
4.395E-11	0.E+00	3.458E-10	0.E+00	2.720E-09	0.E+00
4.507E-11	0.E+00	3.546E-10	0.E+00	2.790E-09	0.E+00
4.622E-11	0.E+00	3.636E-10	0.E+00	2.861E-09	0.E+00
4.740E-11	0.E+00	3.729E-10	0.E+00	2.934E-09	0.E+00
4.861E-11	0.E+00	3.824E-10	0.E+00	3.008E-09	0.E+00
4.984E-11	0.E+00	3.921E-10	0.E+00	3.085E-09	0.E+00
5.111E-11	0.E+00	4.021E-10	0.E+00	3.164E-09	0.E+00
5.242E-11	0.E+00	4.124E-10	0.E+00	3.244E-09	0.E+00
5.375E-11	0.E+00	4.229E-10	0.E+00	3.327E-09	0.E+00
5.512E-11	0.E+00	4.336E-10	0.E+00	3.412E-09	0.E+00
5.652E-11	0.E+00	4.447E-10	0.E+00	3.499E-09	0.E+00
5.796E-11	0.E+00	4.560E-10	0.E+00	3.588E-09	0.E+00
5.944E-11	0.E+00	4.676E-10	0.E+00	3.679E-09	0.E+00
6.096E-11	0.E+00	4.796E-10	0.E+00	3.773E-09	0.E+00
6.251E-11	0.E+00	4.918E-10	0.E+00	3.869E-09	0.E+00
6.410E-11	0.E+00	5.043E-10	0.E+00	3.967E-09	0.E+00
6.573E-11	0.E+00	5.171E-10	0.E+00	4.069E-09	0.E+00
6.741E-11	0.E+00	5.303E-10	0.E+00	4.172E-09	0.E+00
6.912E-11	0.E+00	5.438E-10	0.E+00	4.278E-09	0.E+00
7.089E-11	0.E+00	5.577E-10	0.E+00	4.387E-09	0.E+00
7.269E-11	0.E+00	5.719E-10	0.E+00	4.499E-09	0.E+00
7.454E-11	0.E+00	5.865E-10	0.E+00	4.614E-09	0.E+00
7.644E-11	0.E+00	6.014E-10	0.E+00	4.731E-09	0.E+00

4.852E-09	0.E+00	3.817E-08	0.E+00	3.003E-07	0.E+00
4.975E-09	0.E+00	3.914E-08	0.E+00	3.080E-07	0.E+00
5.102E-09	0.E+00	4.014E-08	0.E+00	3.158E-07	0.E+00
5.232E-09	0.E+00	4.116E-08	0.E+00	3.238E-07	0.E+00
5.365E-09	0.E+00	4.221E-08	0.E+00	3.321E-07	0.E+00
5.502E-09	0.E+00	4.329E-08	0.E+00	3.405E-07	0.E+00
5.642E-09	0.E+00	4.439E-08	0.E+00	3.492E-07	0.E+00
5.786E-09	0.E+00	4.552E-08	0.E+00	3.581E-07	0.E+00
5.933E-09	0.E+00	4.668E-08	0.E+00	3.672E-07	0.E+00
6.085E-09	0.E+00	4.787E-08	0.E+00	3.766E-07	0.E+00
6.240E-09	0.E+00	4.909E-08	0.E+00	3.862E-07	0.E+00
6.398E-09	0.E+00	5.034E-08	0.E+00	3.960E-07	0.E+00
6.561E-09	0.E+00	5.162E-08	0.E+00	4.061E-07	0.E+00
6.729E-09	0.E+00	5.294E-08	0.E+00	4.165E-07	0.E+00
6.900E-09	0.E+00	5.428E-08	0.E+00	4.271E-07	0.E+00
7.076E-09	0.E+00	5.567E-08	0.E+00	4.379E-07	0.E+00
7.256E-09	0.E+00	5.709E-08	0.E+00	4.491E-07	0.E+00
7.441E-09	0.E+00	5.854E-08	0.E+00	4.605E-07	0.E+00
7.630E-09	0.E+00	6.003E-08	0.E+00	4.723E-07	0.E+00
7.825E-09	0.E+00	6.156E-08	0.E+00	4.843E-07	0.E+00
8.024E-09	0.E+00	6.313E-08	0.E+00	4.966E-07	0.E+00
8.229E-09	0.E+00	6.474E-08	0.E+00	5.093E-07	0.E+00
8.438E-09	0.E+00	6.639E-08	0.E+00	5.223E-07	0.E+00
8.653E-09	0.E+00	6.808E-08	0.E+00	5.356E-07	0.E+00
8.874E-09	0.E+00	6.981E-08	0.E+00	5.492E-07	0.E+00
9.100E-09	0.E+00	7.159E-08	0.E+00	5.632E-07	0.E+00
9.331E-09	0.E+00	7.341E-08	0.E+00	5.776E-07	0.E+00
9.569E-09	0.E+00	7.528E-08	0.E+00	5.923E-07	0.E+00
9.813E-09	0.E+00	7.720E-08	0.E+00	6.074E-07	0.E+00
1.006E-08	0.E+00	7.917E-08	0.E+00	6.228E-07	0.E+00
1.032E-08	0.E+00	8.118E-08	0.E+00	6.387E-07	0.E+00
1.058E-08	0.E+00	8.325E-08	0.E+00	6.550E-07	0.E+00
1.085E-08	0.E+00	8.537E-08	0.E+00	6.716E-07	0.E+00
1.113E-08	0.E+00	8.755E-08	0.E+00	6.888E-07	0.E+00
1.141E-08	0.E+00	8.978E-08	0.E+00	7.063E-07	0.E+00
1.170E-08	0.E+00	9.206E-08	0.E+00	7.243E-07	0.E+00
1.200E-08	0.E+00	9.441E-08	0.E+00	7.427E-07	0.E+00
1.231E-08	0.E+00	9.681E-08	0.E+00	7.617E-07	0.E+00
1.262E-08	0.E+00	9.928E-08	0.E+00	7.811E-07	0.E+00
1.294E-08	0.E+00	1.018E-07	0.E+00	8.010E-07	0.E+00
1.327E-08	0.E+00	1.044E-07	0.E+00	8.214E-07	0.E+00
1.361E-08	0.E+00	1.071E-07	0.E+00	8.423E-07	0.E+00
1.396E-08	0.E+00	1.098E-07	0.E+00	8.638E-07	0.E+00
1.431E-08	0.E+00	1.126E-07	0.E+00	8.858E-07	0.E+00
1.468E-08	0.E+00	1.155E-07	0.E+00	9.083E-07	0.E+00
1.505E-08	0.E+00	1.184E-07	0.E+00	9.315E-07	0.E+00
1.543E-08	0.E+00	1.214E-07	0.E+00	9.552E-07	0.E+00
1.583E-08	0.E+00	1.245E-07	0.E+00	9.795E-07	0.E+00
1.623E-08	0.E+00	1.277E-07	0.E+00	1.005E-06	0.E+00
1.664E-08	0.E+00	1.309E-07	0.E+00	1.030E-06	0.E+00
1.707E-08	0.E+00	1.343E-07	0.E+00	1.056E-06	0.E+00
1.750E-08	0.E+00	1.377E-07	0.E+00	1.083E-06	0.E+00
1.795E-08	0.E+00	1.412E-07	0.E+00	1.111E-06	0.E+00
1.840E-08	0.E+00	1.448E-07	0.E+00	1.139E-06	0.E+00
1.887E-08	0.E+00	1.485E-07	0.E+00	1.168E-06	0.E+00
1.935E-08	0.E+00	1.523E-07	0.E+00	1.198E-06	0.E+00
1.985E-08	0.E+00	1.561E-07	0.E+00	1.228E-06	0.E+00
2.035E-08	0.E+00	1.601E-07	0.E+00	1.260E-06	0.E+00
2.087E-08	0.E+00	1.642E-07	0.E+00	1.292E-06	0.E+00
2.140E-08	0.E+00	1.684E-07	0.E+00	1.325E-06	0.E+00
2.195E-08	0.E+00	1.727E-07	0.E+00	1.358E-06	0.E+00
2.251E-08	0.E+00	1.771E-07	0.E+00	1.393E-06	0.E+00
2.308E-08	0.E+00	1.816E-07	0.E+00	1.429E-06	0.E+00
2.367E-08	0.E+00	1.862E-07	0.E+00	1.465E-06	0.E+00
2.427E-08	0.E+00	1.909E-07	0.E+00	1.502E-06	0.E+00
2.489E-08	0.E+00	1.958E-07	0.E+00	1.541E-06	0.E+00
2.552E-08	0.E+00	2.008E-07	0.E+00	1.580E-06	0.E+00
2.617E-08	0.E+00	2.059E-07	0.E+00	1.620E-06	0.E+00
2.684E-08	0.E+00	2.112E-07	0.E+00	1.661E-06	0.E+00
2.752E-08	0.E+00	2.165E-07	0.E+00	1.704E-06	0.E+00
2.823E-08	0.E+00	2.221E-07	0.E+00	1.747E-06	0.E+00
2.894E-08	0.E+00	2.277E-07	0.E+00	1.791E-06	0.E+00
2.968E-08	0.E+00	2.335E-07	0.E+00	1.837E-06	0.E+00
3.044E-08	0.E+00	2.395E-07	0.E+00	1.884E-06	0.E+00
3.121E-08	0.E+00	2.456E-07	0.E+00	1.932E-06	0.E+00
3.201E-08	0.E+00	2.518E-07	0.E+00	1.981E-06	0.E+00
3.282E-08	0.E+00	2.582E-07	0.E+00	2.032E-06	0.E+00
3.366E-08	0.E+00	2.648E-07	0.E+00	2.083E-06	0.E+00
3.452E-08	0.E+00	2.716E-07	0.E+00	2.136E-06	0.E+00
3.540E-08	0.E+00	2.785E-07	0.E+00	2.191E-06	0.E+00
3.630E-08	0.E+00	2.856E-07	0.E+00	2.247E-06	0.E+00
3.722E-08	0.E+00	2.928E-07	0.E+00	2.304E-06	0.E+00

2.363E-06	0.E+00	1.859E-05	0.E+00	1.462E-04	0.E+00
2.423E-06	0.E+00	1.906E-05	0.E+00	1.500E-04	0.E+00
2.484E-06	0.E+00	1.955E-05	0.E+00	1.538E-04	0.E+00
2.548E-06	0.E+00	2.004E-05	0.E+00	1.577E-04	0.E+00
2.613E-06	0.E+00	2.055E-05	0.E+00	1.617E-04	0.E+00
2.679E-06	0.E+00	2.108E-05	0.E+00	1.658E-04	0.E+00
2.747E-06	0.E+00	2.161E-05	0.E+00	1.701E-04	0.E+00
2.817E-06	0.E+00	2.217E-05	0.E+00	1.744E-04	0.E+00
2.889E-06	0.E+00	2.273E-05	0.E+00	1.788E-04	0.E+00
2.963E-06	0.E+00	2.331E-05	0.E+00	1.834E-04	0.E+00
3.038E-06	0.E+00	2.390E-05	0.E+00	1.881E-04	0.E+00
3.116E-06	0.E+00	2.451E-05	0.E+00	1.928E-04	0.E+00
3.195E-06	0.E+00	2.514E-05	0.E+00	1.978E-04	0.E+00
3.276E-06	0.E+00	2.578E-05	0.E+00	2.028E-04	0.E+00
3.360E-06	0.E+00	2.643E-05	0.E+00	2.080E-04	0.E+00
3.445E-06	0.E+00	2.711E-05	0.E+00	2.133E-04	0.E+00
3.533E-06	0.E+00	2.780E-05	0.E+00	2.187E-04	0.E+00
3.623E-06	0.E+00	2.851E-05	0.E+00	2.243E-04	0.E+00
3.716E-06	0.E+00	2.923E-05	0.E+00	2.300E-04	0.E+00
3.810E-06	0.E+00	2.998E-05	0.E+00	2.358E-04	0.E+00
3.907E-06	0.E+00	3.074E-05	0.E+00	2.418E-04	0.E+00
4.007E-06	0.E+00	3.152E-05	0.E+00	2.480E-04	0.E+00
4.109E-06	0.E+00	3.233E-05	0.E+00	2.543E-04	0.E+00
4.214E-06	0.E+00	3.315E-05	0.E+00	2.608E-04	0.E+00
4.321E-06	0.E+00	3.399E-05	0.E+00	2.674E-04	0.E+00
4.431E-06	0.E+00	3.486E-05	0.E+00	2.742E-04	0.E+00
4.544E-06	0.E+00	3.575E-05	0.E+00	2.812E-04	0.E+00
4.660E-06	0.E+00	3.666E-05	0.E+00	2.884E-04	0.E+00
4.778E-06	0.E+00	3.759E-05	0.E+00	2.957E-04	0.E+00
4.900E-06	0.E+00	3.855E-05	0.E+00	3.033E-04	0.E+00
5.025E-06	0.E+00	3.953E-05	0.E+00	3.110E-04	0.E+00
5.153E-06	0.E+00	4.054E-05	0.E+00	3.189E-04	0.E+00
5.284E-06	0.E+00	4.157E-05	0.E+00	3.271E-04	0.E+00
5.419E-06	0.E+00	4.263E-05	0.E+00	3.354E-04	0.E+00
5.557E-06	0.E+00	4.372E-05	0.E+00	3.439E-04	0.E+00
5.698E-06	0.E+00	4.483E-05	0.E+00	3.527E-04	0.E+00
5.843E-06	0.E+00	4.597E-05	0.E+00	3.617E-04	0.E+00
5.992E-06	0.E+00	4.714E-05	0.E+00	3.709E-04	0.E+00
6.145E-06	0.E+00	4.834E-05	0.E+00	3.803E-04	0.E+00
6.301E-06	0.E+00	4.958E-05	0.E+00	3.900E-04	0.E+00
6.462E-06	0.E+00	5.084E-05	0.E+00	4.000E-04	0.E+00
6.627E-06	0.E+00	5.213E-05	0.E+00	4.101E-04	0.E+00
6.795E-06	0.E+00	5.346E-05	0.E+00	4.206E-04	0.E+00
6.968E-06	0.E+00	5.482E-05	0.E+00	4.313E-04	0.E+00
7.146E-06	0.E+00	5.622E-05	0.E+00	4.423E-04	0.E+00
7.328E-06	0.E+00	5.765E-05	0.E+00	4.536E-04	0.E+00
7.515E-06	0.E+00	5.912E-05	0.E+00	4.651E-04	0.E+00
7.706E-06	0.E+00	6.063E-05	0.E+00	4.770E-04	0.E+00
7.902E-06	0.E+00	6.217E-05	0.E+00	4.891E-04	0.E+00
8.104E-06	0.E+00	6.375E-05	0.E+00	5.016E-04	0.E+00
8.310E-06	0.E+00	6.538E-05	0.E+00	5.143E-04	0.E+00
8.522E-06	0.E+00	6.704E-05	0.E+00	5.275E-04	0.E+00
8.739E-06	0.E+00	6.875E-05	0.E+00	5.409E-04	0.E+00
8.962E-06	0.E+00	7.050E-05	0.E+00	5.547E-04	0.E+00
9.190E-06	0.E+00	7.230E-05	0.E+00	5.688E-04	0.E+00
9.424E-06	0.E+00	7.414E-05	0.E+00	5.833E-04	0.E+00
9.664E-06	0.E+00	7.603E-05	0.E+00	5.981E-04	0.E+00
9.910E-06	0.E+00	7.797E-05	0.E+00	6.134E-04	0.E+00
1.016E-05	0.E+00	7.995E-05	0.E+00	6.290E-04	0.E+00
1.042E-05	0.E+00	8.199E-05	0.E+00	6.450E-04	0.E+00
1.069E-05	0.E+00	8.408E-05	0.E+00	6.615E-04	0.E+00
1.096E-05	0.E+00	8.622E-05	0.E+00	6.783E-04	0.E+00
1.124E-05	0.E+00	8.842E-05	0.E+00	6.956E-04	0.E+00
1.153E-05	0.E+00	9.067E-05	0.E+00	7.133E-04	0.E+00
1.182E-05	0.E+00	9.298E-05	0.E+00	7.315E-04	0.E+00
1.212E-05	0.E+00	9.535E-05	0.E+00	7.501E-04	0.E+00
1.243E-05	0.E+00	9.777E-05	0.E+00	7.692E-04	0.E+00
1.275E-05	0.E+00	1.003E-04	0.E+00	7.888E-04	0.E+00
1.307E-05	0.E+00	1.028E-04	0.E+00	8.089E-04	0.E+00
1.340E-05	0.E+00	1.054E-04	0.E+00	8.295E-04	0.E+00
1.374E-05	0.E+00	1.081E-04	0.E+00	8.506E-04	0.E+00
1.409E-05	0.E+00	1.109E-04	0.E+00	8.723E-04	0.E+00
1.445E-05	0.E+00	1.137E-04	0.E+00	8.945E-04	0.E+00
1.482E-05	0.E+00	1.166E-04	0.E+00	9.173E-04	0.E+00
1.520E-05	0.E+00	1.196E-04	0.E+00	9.407E-04	0.E+00
1.559E-05	0.E+00	1.226E-04	0.E+00	9.647E-04	0.E+00
1.598E-05	0.E+00	1.257E-04	0.E+00	9.892E-04	0.E+00
1.639E-05	0.E+00	1.289E-04	0.E+00	1.014E-03	0.E+00
1.681E-05	0.E+00	1.322E-04	0.E+00	1.040E-03	0.E+00
1.724E-05	0.E+00	1.356E-04	0.E+00	1.067E-03	0.E+00
1.767E-05	0.E+00	1.391E-04	0.E+00	1.094E-03	0.E+00
1.813E-05	0.E+00	1.426E-04	0.E+00	1.122E-03	0.E+00

1.150E-03	0.E+00	9.050E-03	0.E+00	7.120E-02	0.E+00
1.180E-03	0.E+00	9.281E-03	0.E+00	7.302E-02	0.E+00
1.210E-03	0.E+00	9.517E-03	0.E+00	7.488E-02	0.E+00
1.241E-03	0.E+00	9.760E-03	0.E+00	7.678E-02	0.E+00
1.272E-03	0.E+00	1.001E-02	0.E+00	7.874E-02	0.E+00
1.305E-03	0.E+00	1.026E-02	0.E+00	8.075E-02	0.E+00
1.338E-03	0.E+00	1.053E-02	0.E+00	8.280E-02	0.E+00
1.372E-03	0.E+00	1.079E-02	0.E+00	8.491E-02	1.E+07
1.407E-03	0.E+00	1.107E-02	0.E+00	8.707E-02	0.E+00
1.443E-03	0.E+00	1.135E-02	0.E+00	8.929E-02	0.E+00
1.479E-03	0.E+00	1.164E-02	0.E+00	9.157E-02	0.E+00
1.517E-03	0.E+00	1.194E-02	0.E+00	9.390E-02	0.E+00
1.556E-03	0.E+00	1.224E-02	0.E+00	9.629E-02	0.E+00
1.595E-03	0.E+00	1.255E-02	0.E+00	9.874E-02	0.E+00
1.636E-03	0.E+00	1.287E-02	0.E+00	1.013E-01	0.E+00
1.678E-03	0.E+00	1.320E-02	0.E+00	1.038E-01	0.E+00
1.720E-03	0.E+00	1.354E-02	0.E+00	1.065E-01	0.E+00
1.764E-03	0.E+00	1.388E-02	0.E+00	1.092E-01	0.E+00
1.809E-03	0.E+00	1.423E-02	0.E+00	1.120E-01	0.E+00
1.855E-03	0.E+00	1.460E-02	0.E+00	1.148E-01	0.E+00
1.903E-03	0.E+00	1.497E-02	0.E+00	1.178E-01	0.E+00
1.951E-03	0.E+00	1.535E-02	0.E+00	1.208E-01	0.E+00
2.001E-03	0.E+00	1.574E-02	0.E+00	1.238E-01	0.E+00
2.052E-03	0.E+00	1.614E-02	0.E+00	1.270E-01	0.E+00
2.104E-03	0.E+00	1.655E-02	0.E+00	1.302E-01	0.E+00
2.158E-03	0.E+00	1.697E-02	0.E+00	1.335E-01	0.E+00
2.213E-03	0.E+00	1.741E-02	0.E+00	1.369E-01	0.E+00
2.269E-03	0.E+00	1.785E-02	0.E+00	1.404E-01	0.E+00
2.327E-03	0.E+00	1.830E-02	0.E+00	1.440E-01	0.E+00
2.386E-03	0.E+00	1.877E-02	0.E+00	1.477E-01	0.E+00
2.447E-03	0.E+00	1.925E-02	0.E+00	1.514E-01	0.E+00
2.509E-03	0.E+00	1.974E-02	0.E+00	1.553E-01	0.E+00
2.573E-03	0.E+00	2.024E-02	0.E+00	1.593E-01	0.E+00
2.639E-03	0.E+00	2.076E-02	0.E+00	1.633E-01	0.E+00
2.706E-03	0.E+00	2.129E-02	0.E+00	1.675E-01	0.E+00
2.775E-03	0.E+00	2.183E-02	0.E+00	1.717E-01	0.E+00
2.845E-03	0.E+00	2.239E-02	0.E+00	1.761E-01	0.E+00
2.918E-03	0.E+00	2.296E-02	0.E+00	1.806E-01	0.E+00
2.992E-03	0.E+00	2.354E-02	0.E+00	1.852E-01	0.E+00
3.068E-03	0.E+00	2.414E-02	0.E+00	1.899E-01	0.E+00
3.147E-03	0.E+00	2.475E-02	0.E+00	1.948E-01	0.E+00
3.227E-03	0.E+00	2.539E-02	0.E+00	1.997E-01	0.E+00
3.309E-03	0.E+00	2.603E-02	0.E+00	2.048E-01	0.E+00
3.393E-03	0.E+00	2.670E-02	0.E+00	2.100E-01	0.E+00
3.480E-03	0.E+00	2.738E-02	0.E+00	2.154E-01	0.E+00
3.568E-03	0.E+00	2.807E-02	0.E+00	2.209E-01	0.E+00
3.659E-03	0.E+00	2.879E-02	0.E+00	2.265E-01	0.E+00
3.752E-03	0.E+00	2.952E-02	0.E+00	2.323E-01	0.E+00
3.848E-03	0.E+00	3.027E-02	0.E+00	2.382E-01	0.E+00
3.946E-03	0.E+00	3.104E-02	0.E+00	2.442E-01	0.E+00
4.047E-03	0.E+00	3.184E-02	0.E+00	2.505E-01	0.E+00
4.150E-03	0.E+00	3.265E-02	0.E+00	2.568E-01	0.E+00
4.255E-03	0.E+00	3.348E-02	0.E+00	2.634E-01	0.E+00
4.364E-03	0.E+00	3.433E-02	0.E+00	2.701E-01	0.E+00
4.475E-03	0.E+00	3.521E-02	0.E+00	2.770E-01	0.E+00
4.589E-03	0.E+00	3.610E-02	0.E+00	2.840E-01	0.E+00
4.706E-03	0.E+00	3.702E-02	0.E+00	2.913E-01	0.E+00
4.826E-03	0.E+00	3.796E-02	0.E+00	2.987E-01	2.E+07
4.949E-03	0.E+00	3.893E-02	0.E+00	3.063E-01	0.E+00
5.075E-03	0.E+00	3.992E-02	0.E+00	3.141E-01	0.E+00
5.204E-03	0.E+00	4.094E-02	0.E+00	3.221E-01	0.E+00
5.336E-03	0.E+00	4.198E-02	0.E+00	3.303E-01	0.E+00
5.472E-03	0.E+00	4.305E-02	0.E+00	3.387E-01	0.E+00
5.612E-03	0.E+00	4.415E-02	0.E+00	3.473E-01	0.E+00
5.755E-03	0.E+00	4.527E-02	0.E+00	3.562E-01	0.E+00
5.901E-03	0.E+00	4.643E-02	0.E+00	3.653E-01	0.E+00
6.052E-03	0.E+00	4.761E-02	0.E+00	3.746E-01	0.E+00
6.206E-03	0.E+00	4.882E-02	0.E+00	3.841E-01	0.E+00
6.364E-03	0.E+00	5.007E-02	0.E+00	3.939E-01	0.E+00
6.526E-03	0.E+00	5.134E-02	0.E+00	4.039E-01	0.E+00
6.692E-03	0.E+00	5.265E-02	0.E+00	4.142E-01	0.E+00
6.863E-03	0.E+00	5.399E-02	0.E+00	4.248E-01	0.E+00
7.038E-03	0.E+00	5.537E-02	0.E+00	4.356E-01	3.E+07
7.217E-03	0.E+00	5.678E-02	0.E+00	4.467E-01	0.E+00
7.401E-03	0.E+00	5.822E-02	0.E+00	4.581E-01	0.E+00
7.589E-03	0.E+00	5.971E-02	0.E+00	4.697E-01	0.E+00
7.783E-03	0.E+00	6.123E-02	0.E+00	4.817E-01	2.E+07
7.981E-03	0.E+00	6.279E-02	0.E+00	4.940E-01	0.E+00
8.184E-03	0.E+00	6.439E-02	0.E+00	5.065E-01	0.E+00
8.393E-03	0.E+00	6.603E-02	0.E+00	5.195E-01	1.E+05
8.606E-03	0.E+00	6.771E-02	0.E+00	5.327E-01	0.E+00
8.826E-03	0.E+00	6.943E-02	0.E+00	5.463E-01	0.E+00

5.602E-01 0.E+00
 5.744E-01 0.E+00
 5.891E-01 0.E+00
 6.041E-01 0.E+00
 6.195E-01 0.E+00
 6.352E-01 0.E+00
 6.514E-01 0.E+00
 6.680E-01 0.E+00
 6.850E-01 0.E+00
 7.025E-01 0.E+00
 7.204E-01 0.E+00
 7.387E-01 0.E+00
 7.576E-01 0.E+00
 7.769E-01 0.E+00
 7.966E-01 0.E+00
 8.169E-01 0.E+00
 8.377E-01 0.E+00
 8.591E-01 0.E+00
 8.810E-01 0.E+00
 9.034E-01 0.E+00
 9.264E-01 0.E+00
 9.500E-01 0.E+00
 9.742E-01 0.E+00
 9.990E-01 0.E+00
 1.025E+00 0.E+00
 1.051E+00 0.E+00
 1.077E+00 0.E+00
 1.105E+00 0.E+00
 1.133E+00 0.E+00
 1.162E+00 0.E+00
 1.191E+00 0.E+00
 1.222E+00 0.E+00
 1.253E+00 0.E+00
 1.285E+00 0.E+00
 1.318E+00 0.E+00
 1.351E+00 0.E+00
 1.386E+00 0.E+00
 1.421E+00 0.E+00
 1.457E+00 0.E+00
 1.494E+00 0.E+00
 1.532E+00 0.E+00
 1.571E+00 0.E+00
 1.611E+00 0.E+00
 1.652E+00 0.E+00
 1.694E+00 0.E+00
 1.738E+00 0.E+00
 1.782E+00 0.E+00
 1.827E+00 0.E+00
 1.874E+00 0.E+00
 1.921E+00 0.E+00
 1.970E+00 0.E+00
 2.021E+00 0.E+00
 2.072E+00 0.E+00
 2.125E+00 0.E+00
 2.179E+00 0.E+00
 2.235E+00 0.E+00
 2.291E+00 0.E+00
 2.350E+00 0.E+00
 2.410E+00 0.E+00
 2.471E+00 0.E+00
 2.534E+00 0.E+00
 2.599E+00 0.E+00
 2.665E+00 0.E+00
 2.733E+00 0.E+00
 2.802E+00 0.E+00
 2.874E+00 0.E+00
 2.947E+00 0.E+00
 3.022E+00 0.E+00
 3.099E+00 0.E+00
 3.178E+00 0.E+00
 3.259E+00 0.E+00
 3.342E+00 0.E+00
 3.427E+00 0.E+00
 3.514E+00 0.E+00
 3.604E+00 0.E+00
 3.695E+00 0.E+00
 3.790E+00 0.E+00
 3.886E+00 0.E+00
 3.985E+00 0.E+00
 4.087E+00 0.E+00
 4.191E+00 0.E+00
 4.298E+00 0.E+00

4.407E+00 0.E+00
 4.519E+00 0.E+00
 4.634E+00 0.E+00
 4.752E+00 0.E+00
 4.873E+00 0.E+00
 4.998E+00 0.E+00
 5.125E+00 0.E+00
 5.256E+00 0.E+00
 5.389E+00 0.E+00
 5.527E+00 0.E+00
 5.667E+00 0.E+00
 5.812E+00 0.E+00
 5.960E+00 0.E+00
 6.112E+00 0.E+00
 6.267E+00 0.E+00
 6.427E+00 0.E+00
 6.591E+00 0.E+00
 6.759E+00 0.E+00
 6.931E+00 0.E+00
 7.107E+00 0.E+00
 7.288E+00 0.E+00
 7.474E+00 0.E+00
 7.664E+00 0.E+00
 7.860E+00 0.E+00
 8.060E+00 0.E+00
 8.265E+00 0.E+00
 8.476E+00 0.E+00
 8.692E+00 0.E+00
 8.913E+00 0.E+00
 9.140E+00 0.E+00
 9.373E+00 0.E+00
 9.612E+00 0.E+00
 9.857E+00 0.E+00
 1.011E+01 0.E+00
 1.037E+01 0.E+00
 1.063E+01 0.E+00
 1.090E+01 0.E+00
 1.118E+01 0.E+00
 1.146E+01 0.E+00
 1.175E+01 0.E+00
 1.205E+01 0.E+00
 1.236E+01 0.E+00
 1.268E+01 0.E+00
 1.300E+01 0.E+00
 1.333E+01 0.E+00
 1.367E+01 0.E+00
 1.402E+01 0.E+00
 1.438E+01 0.E+00
 1.474E+01 0.E+00
 1.512E+01 0.E+00
 1.550E+01 0.E+00
 1.590E+01 0.E+00
 1.630E+01 0.E+00
 1.672E+01 0.E+00
 1.714E+01 0.E+00
 1.758E+01 0.E+00
 1.803E+01 0.E+00
 1.849E+01 0.E+00
 1.896E+01 0.E+00
 1.944E+01 0.E+00
 1.994E+01 0.E+00
 2.044E+01 0.E+00
 2.096E+01 0.E+00
 2.150E+01 0.E+00
 2.205E+01 0.E+00
 2.261E+01 0.E+00
 2.318E+01 0.E+00
 2.377E+01 0.E+00
 2.438E+01 0.E+00
 2.500E+01 0.E+00

[Material]

mat[1] \$skin
 1001 -0.100586994 \$hidrogen
 6012 -0.228247718 \$carbon
 7014 -0.046419536 \$nitrogen
 8016 -0.61899581 \$oxygen
 11023 -6.99993E-05 \$sodium
 12024 -5.99994E-05 \$magnesium
 15031 -0.000329997 \$phosphorus
 16032 -0.001589984 \$sulphur
 17035 -0.002669973 \$chlorine

19039 -0.000849992 \$potassium
 20040 -0.000149999 \$calcium
 26056 -9.9999E-06 \$iron
 30065 -9.9999E-06 \$zinc
 5010 -9.9999E-06 \$boron 100
 mikro gram
 mat[2] \$brain
 1001 -0.110665893 \$hidrogen
 6012 -0.125418746 \$carbon
 7014 -0.013279867 \$nitrogen
 8016 -0.737715623 \$oxygen
 11023 -0.001839982 \$sodium
 12024 -0.000149999 \$magnesium
 15031 -0.003539965 \$phosphorus
 16032 -0.001769982 \$sulphur
 17035 -0.002359976 \$chlorine
 19039 -0.003099969 \$potassium
 20040 -8.99991E-05 \$calcium
 26056 -4.99995E-05 \$iron
 30065 -9.9999E-06 \$zinc
 5010 -9.9999E-06 \$boron 100
 mikro gram
 mat[3] \$soft tissue
 1001 -0.104470955 \$hidrogen
 6012 -0.232187678 \$carbon
 7014 -0.024879751 \$nitrogen
 8016 -0.630231698 \$oxygen
 11023 -0.00112989 \$sodium
 12024 -0.000129999 \$magnesium
 15031 -0.001329987 \$phosphorus
 16032 -0.00198998 \$sulphur
 17035 -0.001339987 \$chlorine
 19039 -0.00198998 \$potassium
 20040 -0.000229998 \$calcium
 26056 -4.99995E-05 \$iron
 30065 -2.99997E-05 \$zinc
 5010 -9.9999E-06 \$boron 100
 mikro gram
 mat[5] \$bone
 1001 -0.047323527 \$hidrogen
 6012 -0.144328557 \$carbon
 7014 -0.04198958 \$nitrogen
 8016 -0.446091539 \$oxygen
 12024 -0.002199978 \$magnesium
 15031 -0.10496895 \$phosphorus
 16032 -0.003149969 \$sulphur
 20040 -0.209927901 \$calcium
 30065 -9.9999E-06 \$zinc
 5010 -9.9999E-06 \$boron 100
 mikro gram
 mat[6] \$PTV
 1001 -0.110665893 \$hidrogen
 6012 -0.125418746 \$carbon
 7014 -0.013279867 \$nitrogen
 8016 -0.737715623 \$oxygen
 11023 -0.001839982 \$sodium
 12024 -0.000149999 \$magnesium
 15031 -0.003539965 \$phosphorus
 16032 -0.001769982 \$sulphur
 17035 -0.002359976 \$chlorine
 19039 -0.003099969 \$potassium
 20040 -8.99991E-05 \$calcium
 26056 -4.99995E-05 \$iron
 30065 -9.9999E-06 \$zinc
 5010 -9.9999E-06 \$boron 100
 mikro gram
 mat[7] \$CTV
 1001 -0.09899505 \$hidrogen
 6012 -0.268986551 \$carbon
 7014 -0.04499775 \$nitrogen
 8016 -0.568971551 \$oxygen
 15031 -0.0179991 \$phosphorus
 5010 -4.99975E-05 \$boron 100
 mikro gram
 mat[8] \$GTV
 1001 -0.098990101 \$hidrogen
 6012 -0.268973103 \$carbon
 7014 -0.0449955 \$nitrogen
 8016 -0.568943106 \$oxygen
 15031 -0.0179982 \$phosphorus
 5010 -9.999E-05 \$boron 100
 mikro gram

mat[9] \$air	43 5 -1.85 (-116 45 12);(118 -117 120	6.00E+03 1.16E-10
6012 -0.000124 \$carbon	-121 -119 116) \$facial skeleton	8.00E+03 1.17E-10
7014 -0.755267 \$nitrogen	118 -1 -175 37 -19 \$ void in	1.00E+0 1.17E-10
8016 -0.231781 \$oxygen	esophagus	\$ Photons brain absorbed dose
18040 -0.012827 \$argon	111 6 -1.03 -912 913 \$ PTV	
	112 7 -1.20 914 -913 \$ CTV	[Multiplier]
[M a t N a m e C o l o r]	113 8 -1.20 -914 #111 #112 \$ GTV	number = -298
mat name color	5 9 -0.00120479 -1 ((21 6 -22):(22 21	interpolation = log
3 Soft-Tissue darkred	14):(14 -12):(12 24):-6) \$air	ne = 55
5 Bone white	1 -1 1 \$void	1.00E-02 1.10E-16
2 Brain orange		1.50E-02 5.10E-15
1 Skin pastelpink	[Volume]	2.00E-02 3.84E-14
6 PTV yellow	reg vol	3.00E-02 1.53E-13
7 CTV blue	111 65.449847 \$PTV	4.00E-02 2.19E-13
8 GTV red	112 33.51032 \$CTV	5.00E-02 2.46E-13
9 Air pastelcyan	113 14.137 \$GTV	6.00E-02 2.58E-13
	6 5430 \$head and neck	7.00E-02 2.68E-13
[Surface]	17 1370 \$brain	8.00E-02 2.81E-13
6 pz 70.0	42 618 \$skull cranium	1.00E-01 3.15E-13
12 pz 91.45	43 305 \$facial skeleton	1.50E-01 4.40E-13
14 sq 100 64 0 0 0 0 -6400 0 0 0	7 274 \$kulit kepala	2.00E-01 5.93E-13
\$head1-skin		3.00E-01 9.28E-13
15 pz 200.0	[TRANSFORM]	4.00E-01 1.27E-12
18 sq 96.04 60.84 0 0 0 0 -5843.0736	*tr1 8 -0.1846 91.5400 90 90 0 90 0	5.00E-01 1.62E-12
0 0 0 \$head1	90 180 90 90 1	5.11E-01 1.65E-12
19 pz 69.80		6.00E-01 1.96E-12
21 cz 5.4	[Multiplier]	6.129E-01 2.16E-12
22 pz 78.40	number = -299	8.00E-01 2.62E-12
23 cz 5.20 \$neck	interpolation = log	1.00E+00 3.24E-12
24 sq 5112.25 3271.84 6400 0 0 0 -	ne = 55	1.117E+00 3.59E-12
327184 0 0 91.45 \$head2	1.00E-02 0	1.33E+00 4.20E-12
37 pz 43	1.50E-02 6.00E-17	1.50E+00 4.66E-12
45 sq 2445.3025 1440.2025	2.00E-02 4.60E-15	2.00E+00 5.95E-12
3221.6976 0 0 0 -106517.3769 0 0	3.00E-02 8.05E-14	3.00E+00 8.23E-12
91.45 \$brain	4.00E-02 1.69E-13	4.00E+00 1.03E-11
47 pz 75.0	5.00E-02 2.18E-13	5.00E+00 1.21E-11
48 sq 0.1764 1.3689 0 0 0 0 -	6.00E-02 2.50E-13	6.00E+00 1.39E-11
0.24147396 0 2.575 0 \$esophagus:	7.00E-02 2.76E-13	6.129E+00 1.41E-11
thoracic+abdominal portion	8.00E-02 3.06E-13	8.00E+00 1.71E-11
84 pz 22	1.00E-01 3.71E-13	1.00E+01 2.01E-11
90 pz 35.1	1.50E-01 5.66E-13	1.50E+01 2.69E-11
112 sq 6.25 4 0 0 0 0 -25 0 5.50 0 \$	2.00E-01 7.84E-13	2.00E+01 3.31E-11
spine-mid, lower	3.00E-01 1.24E-12	3.00E+01 4.40E-11
113 pz 84.8	4.00E-01 1.69E-12	4.00E+01 5.39E-11
114 sq 6.25 4 0 0 0 0 -25 0 1.45 0 \$	5.00E-01 2.12E-12	5.00E+01 6.27E-11
spine-upper	5.11E-01 2.17E-12	6.00E+01 7.04E-11
116 sq 3991.080625 2487.515625	6.00E-01 2.54E-12	8.00E+01 8.33E-11
5076.5625 0 0 0 -224498.28515625 0	6.129E-01 2.79E-12	1.00E+02 9.34E-11
0 91.45 \$skull-cranium	8.00E-01 3.33E-12	1.50E+02 1.11E-10
117 sq 81 49 0 0 0 0 -3969 0 0 0 \$	1.00E+00 4.07E-12	2.00E+02 1.24E-10
facial skeleton	1.117E+00 4.48E-12	3.00E+02 1.41E-10
118 sq 57.76 31.36 0 0 0 0 -1811.3536	1.33E+00 5.18E-12	4.00E+02 1.52E-10
0 0 0 \$facial skeleton	1.50E+00 5.70E-12	5.00E+02 1.60E-10
119 py 0.0	2.00E+00 7.14E-12	6.00E+02 1.66E-10
120 pz 82.4	3.00E+00 9.62E-12	8.00E+02 1.76E-10
121 pz 93.13	4.00E+00 1.18E-11	1.00E+03 1.83E-10
133 pz 71.25	5.00E+00 1.38E-11	1.50E+03 1.95E-10
134 px 0	6.00E+00 1.58E-11	2.00E+03 2.03E-10
175 sq 0.0144 0.7569 0 0 0 0 -	6.129E+00 1.60E-11	3.00E+03 2.15E-10
0.01089936 0 2.575 0	8.00E+00 1.95E-11	4.00E+03 2.24E-10
\$176 5 cx 0.70	1.00E+01 2.29E-11	5.00E+03 2.30E-10
\$177 5 px 0.10	1.50E+01 3.02E-11	6.00E+03 2.35E-10
\$178 5 px 7.80	2.00E+01 3.71E-11	8.00E+03 2.43E-10
322 pz 78.6	3.00E+01 4.71E-11	1.00E+04 2.49E-10
524 sq 4638.172 2938.72 5843.074 0	4.00E+01 5.42E-11	\$ Photons bone absorbed dose
0 0 -282235.1 0 0 91.45 \$head2	5.00E+01 5.95E-11	
912 s 3.8282 -0.1846 91.5400 2.5	6.00E+01 6.37E-11	[Multiplier]
913 s 3.8282 -0.1846 91.5400 2	8.00E+01 7.01E-11	number = -297
914 s 3.8282 -0.1846 91.5400 1.5	1.00E+02 7.47E-11	interpolation = log
1 sz 82.36627 100	1.50E+02 8.26E-11	ne = 55
	2.00E+02 8.77E-11	1.00E-02 4.10E-15
[Cell]	3.00E+02 9.38E-11	1.50E-02 1.99E-14
6 3 -1.00 ((-23 6 -22 114) #118):(-21	4.00E+02 9.72E-11	2.00E-02 3.41E-14
22 -322 114):((322 -12 -18 116) #41	5.00E+02 9.97E-11	3.00E-02 6.79E-14
#43 #17):(-524 12 116) #43 #42) \$	6.00E+02 1.01E-10	4.00E-02 1.03E-13
head and neck	8.00E+02 1.04E-10	5.00E-02 1.31E-13
7 1 -1.10 (-21 23 6 -22):(22 -322 21 -	1.00E+03 1.06E-10	6.00E-02 1.52E-13
14):(-14 18 322 -12):(12 -24 524)	1.50E+03 1.09E-10	7.00E-02 1.72E-13
\$skin	2.00E+03 1.11E-10	8.00E-02 1.93E-13
17 2 -1.03 -45 912 \$brain	3.00E+03 1.13E-10	1.00E-01 2.39E-13
41 5 -1.85 (6 -113 -114) \$spine	4.00E+03 1.14E-10	1.50E-01 3.71E-13
42 5 -1.85 -116 45 -12 \$skull-cranium	5.00E+03 1.15E-10	2.00E-01 5.20E-13

3.00E-01	8.43E-13	2.00E+01	2.07E-11	1.30E+02	8.86E-11
4.00E-01	1.18E-12	3.00E+01	2.83E-11	1.50E+02	9.02E-11
5.00E-01	1.52E-12	4.00E+01	3.52E-11	1.80E+02	9.23E-11
5.11E-01	1.55E-12	5.00E+01	4.14E-11	2.00E+02	9.38E-11
6.00E-01	1.85E-12	6.00E+01	4.70E-11	3.00E+02	1.04E-10
6.129E-01	2.05E-12	8.00E+01	5.66E-11	4.00E+02	1.19E-10
8.00E-01	2.50E-12	1.00E+02	6.45E-11	5.00E+02	1.34E-10
1.00E+00	3.12E-12	1.50E+02	7.94E-11	6.00E+02	1.50E-10
1.117E+00	3.46E-12	2.00E+02	9.02E-11	7.00E+02	1.63E-10
1.33E+00	4.07E-12	3.00E+02	1.05E-10	8.00E+02	1.74E-10
1.50E+00	4.53E-12	4.00E+02	1.15E-10	9.00E+02	1.83E-10
2.00E+00	5.81E-12	5.00E+02	1.22E-10	1.00E+03	1.90E-10
3.00E+00	8.09E-12	6.00E+02	1.28E-10	2.00E+03	2.28E-10
4.00E+00	1.01E-11	8.00E+02	1.37E-10	5.00E+03	2.91E-10
5.00E+00	1.19E-11	1.00E+03	1.43E-10	1.00E+04	3.82E-10
6.00E+00	1.37E-11	1.50E+03	1.55E-10	\$Neutrons Brain absorbed dose	
6.129E+00	1.39E-11	2.00E+03	1.63E-10	[Multiplier]	
8.00E+00	1.70E-11	3.00E+03	1.74E-10	number = -294	
1.00E+01	2.03E-11	4.00E+03	1.82E-10	interpolation = log	
1.50E+01	2.81E-11	5.00E+03	1.88E-10	ne = 68	
2.00E+01	3.59E-11	6.00E+03	1.93E-10	1.00E-09	4.41E-13
3.00E+01	5.00E-11	8.00E+03	2.02E-10	1.00E-08	5.06E-13
4.00E+01	6.27E-11	1.00E+04	2.08E-10	2.50E-08	5.78E-13
5.00E+01	7.39E-11	Photons skin absorbed dose		1.00E-07	7.50E-13
6.00E+01	8.34E-11	[Multiplier]		2.00E-07	8.50E-13
8.00E+01	9.87E-11	number = -295		5.00E-07	9.70E-13
1.00E+02	1.10E-10	interpolation = log		1.00E-06	1.03E-12
1.50E+02	1.30E-10	ne = 68		2.00E-06	1.08E-12
2.00E+02	1.42E-10	1.00E-09	6.63E-13	5.00E-06	1.11E-12
3.00E+02	1.59E-10	1.00E-08	7.89E-13	1.00E-05	1.11E-12
4.00E+02	1.70E-10	2.50E-08	9.18E-13	2.00E-05	1.10E-12
5.00E+02	1.77E-10	1.00E-07	1.23E-12	5.00E-05	1.09E-12
6.00E+02	1.83E-10	2.00E-07	1.42E-12	1.00E-04	1.07E-12
8.00E+02	1.92E-10	5.00E-07	1.66E-12	2.00E-04	1.05E-12
1.00E+03	1.98E-10	1.00E-06	1.81E-12	5.00E-04	1.03E-12
1.50E+03	2.08E-10	2.00E-06	1.90E-12	1.00E-03	1.01E-12
2.00E+03	2.15E-10	5.00E-06	1.97E-12	2.00E-03	9.92E-13
3.00E+03	2.23E-10	1.00E-05	2.00E-12	5.00E-03	9.74E-13
4.00E+03	2.29E-10	2.00E-05	2.01E-12	1.00E-02	9.74E-13
5.00E+03	2.33E-10	5.00E-05	2.01E-12	2.00E-02	1.01E-12
6.00E+03	2.37E-10	1.00E-04	2.00E-12	3.00E-02	1.06E-12
8.00E+03	2.42E-10	2.00E-04	1.98E-12	5.00E-02	1.15E-12
1.00E+04	2.46E-10	5.00E-04	1.96E-12	7.00E-02	1.26E-12
\$ Photons remainder tissue absorbed dose		1.00E-03	1.93E-12	1.00E-01	1.44E-12
[Multiplier]		2.00E-03	1.91E-12	1.50E-01	1.74E-12
number = -296		5.00E-03	1.87E-12	2.00E-01	2.05E-12
interpolation = log		1.00E-02	1.86E-12	3.00E-01	2.67E-12
ne = 55		2.00E-02	1.89E-12	5.00E-01	3.90E-12
1.00E-02	9.12E-13	3.00E-02	1.94E-12	7.00E-01	5.03E-12
1.50E-02	6.65E-13	5.00E-02	2.05E-12	9.00E-01	6.12E-12
2.00E-02	4.80E-13	7.00E-02	2.16E-12	1.00E+00	6.65E-12
3.00E-02	2.98E-13	1.00E-01	2.35E-12	1.20E+00	7.74E-12
4.00E-02	2.27E-13	1.50E-01	2.71E-12	1.50E+00	9.34E-12
5.00E-02	2.01E-13	2.00E-01	3.11E-12	2.00E+00	1.19E-11
6.00E-02	1.97E-13	3.00E-01	3.96E-12	3.00E+00	1.63E-11
7.00E-02	2.07E-13	5.00E-01	5.73E-12	4.00E+00	2.00E-11
8.00E-02	2.23E-13	7.00E-01	7.46E-12	5.00E+00	2.33E-11
1.00E-01	2.72E-13	9.00E-01	9.16E-12	6.00E+00	2.61E-11
1.50E-01	4.33E-13	1.00E+00	1.00E-11	7.00E+00	2.87E-11
2.00E-01	6.15E-13	1.20E+00	1.18E-11	8.00E+00	3.10E-11
3.00E-01	9.87E-13	1.50E+00	1.44E-11	9.00E+00	3.31E-11
4.00E-01	1.35E-12	2.00E+00	1.85E-11	1.00E+01	3.51E-11
5.00E-01	1.69E-12	3.00E+00	2.53E-11	1.20E+01	3.87E-11
5.11E-01	1.73E-12	4.00E+00	3.09E-11	1.40E+01	4.19E-11
6.00E-01	2.01E-12	5.00E+00	3.54E-11	1.50E+01	4.33E-11
6.129E-01	2.20E-12	6.00E+00	3.92E-11	1.60E+01	4.46E-11
8.00E-01	2.57E-12	7.00E+00	4.25E-11	1.80E+01	4.69E-11
1.00E+00	3.03E-12	8.00E+00	4.54E-11	2.00E+01	4.89E-11
1.117E+00	3.27E-12	9.00E+00	4.80E-11	2.10E+01	4.98E-11
1.33E+00	3.65E-12	1.00E+01	5.04E-11	3.00E+01	5.62E-11
1.50E+00	3.92E-12	1.20E+01	5.46E-11	5.00E+01	6.48E-11
2.00E+00	4.62E-12	1.40E+01	5.81E-11	7.50E+01	7.25E-11
3.00E+00	5.78E-12	1.50E+01	5.95E-11	1.00E+02	7.83E-11
4.00E+00	6.81E-12	1.60E+01	6.08E-11	1.30E+02	8.39E-11
5.00E+00	7.77E-12	1.80E+01	6.31E-11	1.50E+02	8.72E-11
6.00E+00	8.71E-12	2.00E+01	6.49E-11	1.80E+02	9.17E-11
6.129E+00	8.83E-12	2.10E+01	6.56E-11	2.00E+02	9.45E-11
8.00E+00	1.05E-11	3.00E+01	7.05E-11	3.00E+02	1.09E-10
1.00E+01	1.23E-11	5.00E+01	7.64E-11	4.00E+02	1.25E-10
1.50E+01	1.66E-11	7.50E+01	8.18E-11	5.00E+02	1.42E-10
		1.00E+02	8.57E-11	6.00E+02	1.59E-10

7.00E+02 1.74E-10
 8.00E+02 1.86E-10
 9.00E+02 1.95E-10
 1.00E+03 2.03E-10
 2.00E+03 2.51E-10
 5.00E+03 3.43E-10
 1.00E+04 4.56E-10
 \$Neutrons Bone absorbed dose

[Multiplier]

number = -293
 interpolation = log
 ne = 68
 1.00E-09 4.00E-13
 1.00E-08 4.53E-13
 2.50E-08 5.18E-13
 1.00E-07 6.77E-13
 2.00E-07 7.73E-13
 5.00E-07 8.91E-13
 1.00E-06 9.67E-13
 2.00E-06 1.03E-12
 5.00E-06 1.07E-12
 1.00E-05 1.09E-12
 2.00E-05 1.11E-12
 5.00E-05 1.12E-12
 1.00E-04 1.12E-12
 2.00E-04 1.11E-12
 5.00E-04 1.10E-12
 1.00E-03 1.09E-12
 2.00E-03 1.09E-12
 5.00E-03 1.09E-12
 1.00E-02 1.11E-12
 2.00E-02 1.12E-12
 3.00E-02 1.14E-12
 5.00E-02 1.20E-12
 7.00E-02 1.26E-12
 1.00E-01 1.36E-12
 1.50E-01 1.52E-12
 2.00E-01 1.70E-12
 3.00E-01 2.05E-12
 5.00E-01 2.80E-12
 7.00E-01 3.57E-12
 9.00E-01 4.35E-12
 1.00E+00 4.76E-12
 1.20E+00 5.62E-12
 1.50E+00 6.96E-12
 2.00E+00 9.21E-12
 3.00E+00 1.35E-11
 4.00E+00 1.75E-11
 5.00E+00 2.11E-11
 6.00E+00 2.44E-11
 7.00E+00 2.73E-11
 8.00E+00 3.00E-11
 9.00E+00 3.24E-11
 1.00E+01 3.47E-11
 1.20E+01 3.87E-11
 1.40E+01 4.22E-11
 1.50E+01 4.38E-11
 1.60E+01 4.52E-11
 1.80E+01 4.78E-11
 2.00E+01 5.01E-11
 2.10E+01 5.12E-11
 3.00E+01 5.86E-11
 5.00E+01 6.88E-11
 7.50E+01 7.79E-11
 1.00E+02 8.85E-11
 1.30E+02 9.33E-11
 1.50E+02 9.81E-11
 1.80E+02 1.05E-10
 2.00E+02 1.09E-10
 3.00E+02 1.28E-10
 4.00E+02 1.47E-10
 5.00E+02 1.66E-10
 6.00E+02 1.84E-10
 7.00E+02 2.00E-10
 8.00E+02 2.13E-10
 9.00E+02 2.24E-10
 1.00E+03 2.34E-10
 2.00E+03 2.95E-10
 5.00E+03 4.08E-10

1.00E+04 5.27E-10
 \$Neutrons remainder tissue absorbed dose

[Multiplier]

number = -292
 interpolation = log
 ne = 68
 1.00E-09 7.92E-13
 1.00E-08 6.55E-13
 2.50E-08 6.53E-13
 1.00E-07 6.67E-13
 2.00E-07 6.98E-13
 5.00E-07 7.26E-13
 1.00E-06 7.39E-13
 2.00E-06 7.39E-13
 5.00E-06 7.43E-13
 1.00E-05 7.33E-13
 2.00E-05 7.19E-13
 5.00E-05 6.89E-13
 1.00E-04 6.74E-13
 2.00E-04 6.63E-13
 5.00E-04 6.45E-13
 1.00E-03 6.42E-13
 2.00E-03 6.49E-13
 5.00E-03 7.08E-13
 1.00E-02 8.19E-13
 2.00E-02 1.04E-12
 3.00E-02 1.26E-12
 5.00E-02 1.64E-12
 7.00E-02 1.99E-12
 1.00E-01 2.46E-12
 1.50E-01 3.14E-12
 2.00E-01 3.73E-12
 3.00E-01 4.76E-12
 5.00E-01 6.49E-12
 7.00E-01 8.00E-12
 9.00E-01 9.39E-12
 1.00E+00 1.00E-11
 1.20E+00 1.13E-11
 1.50E+00 1.29E-11
 2.00E+00 1.54E-11
 3.00E+00 1.98E-11
 4.00E+00 2.36E-11
 5.00E+00 2.68E-11
 6.00E+00 2.97E-11
 7.00E+00 3.23E-11
 8.00E+00 3.46E-11
 9.00E+00 3.67E-11
 1.00E+01 3.87E-11
 1.20E+01 4.22E-11
 1.40E+01 4.50E-11
 1.50E+01 4.61E-11
 1.60E+01 4.72E-11
 1.80E+01 4.89E-11
 2.00E+01 5.03E-11
 2.10E+01 5.09E-11
 3.00E+01 5.44E-11
 5.00E+01 5.83E-11
 7.50E+01 6.12E-11
 1.00E+02 6.28E-11
 1.30E+02 6.43E-11
 1.50E+02 6.56E-11
 1.80E+02 6.81E-11
 2.00E+02 6.99E-11
 3.00E+02 8.08E-11
 4.00E+02 9.34E-11
 5.00E+02 1.06E-10
 6.00E+02 1.19E-10
 7.00E+02 1.29E-10
 8.00E+02 1.38E-10
 9.00E+02 1.46E-10
 1.00E+03 1.52E-10
 2.00E+03 1.89E-10
 5.00E+03 2.65E-10
 1.00E+04 3.60E-10

\$Neutrons skin absorbed dose

[T - T R A C K]

title = Track Detection using [T-track]
 tally

mesh = r-z

x0 = 0.0
 y0 = 0.0
 r-type = 1
 nr = 1
 0 1
 z-type = 2
 nz = 400
 zmin = 0
 zmax = 20
 e-type = 1
 ne = 3
 1E-15 5E-7
 0.02 25
 trcl = 1
 axis = z
 file = mesh.out # file name of output
 for the above axis
 part = neutron
 gshow = 1 # 0: no 1:bnd,
 2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
 epsout = 1 # (D=0) generate
 eps file by ANGEL
 x-txt = kedalaman
 y-txt = Gy
 multiplier = 7
 part = photon
 emax = 10000
 mat mset1
 2 (1 -299)
 5 (1 -298)
 3 (1 -297)
 6 (1 -297)
 7 (1 -297)
 8 (1 -297)
 1 (1 -296)
 multiplier = 7
 part = neutron
 emax = 10000
 mat mset1
 2 (1 -295)
 5 (1 -294)
 3 (1 -293)
 6 (1 -293)
 7 (1 -293)
 8 (1 -293)
 1 (1 -292)
 [T - T r a c k]
 mesh = xyz # mesh type is xyz
 scoring mesh
 x-type = 2 # x-mesh is linear
 given by xmin, xmax and nx
 nx = 200 # number of x-mesh
 points
 xmin = -15. # minimum value of
 x-mesh points
 xmax = 15. # maximum value
 of x-mesh points
 y-type = 1 # y-mesh is given by
 the below data
 ny = 1 # number of y-mesh
 points
 -4.2319 4.2319
 z-type = 2 # z-mesh is linear
 given by zmin, zmax and nz
 nz = 200 # number of z-mesh
 points
 zmin = 65. # minimum value of
 z-mesh points
 zmax = 100. # maximum value
 of z-mesh points
 e-type = 1 # e-mesh is given by
 the below data
 ne = 1 # number of e-mesh
 points
 0.0 1.8E001
 unit = 1 # unit is
 [1/cm^2/source]
 axis = zx # axis of output
 file = LLAT.out # file name of output
 for the above axis


```

title = Track Detection using [T-track]          zmin = 0
tally                                           zmax = 20
gshow = 1 # 0: no 1:bnd, e-type = 1
2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
part = neutron proton
photon alpha nucleus
epsout = 1 # (D=0) generate
eps file by ANGEL
x-txt = Kedalaman (cm)
y-txt = Fluks (n.cm^-2.s^-1)
[ T - Cross ]
title = Distribusi Fluks Neutron dalam 1/source)
Phantom
mesh = r-z
x0 = 0.0
y0 = 0.0
r-type = 1
nr = 1
0 1
z-type = 2
nz = 600
unit = 1
file = flux.out
output = flux
part = neutron
epsout = 1
[ T - Deposit ] off
title = Energy deposition in cell
mesh = reg # mesh
type is region-wise
reg = 7 42 43 17 111 112
113 6
unit = 0 # unit is
[Gy/source]
output = dose # total
deposit energy
axis = reg # axis of output
y-txt = Gy
file = deposit.out # file name of
output for the above axis
part = all alpha proton neutron
photon
gshow = 1 # 0: no 1:bnd,
2:bnd+mat, 3:bnd+reg 4:bnd+lat
epsout = 1 # (D=0) generate
eps file by ANGEL
[ E n d ]

```

Lampiran 2. Perhitungan Fraksi Massa Boron

Konsentrasi setiap bagian dari target terapi kanker memiliki perbandingan yaitu pada bagian CTV divariasikan sebesar 50% dari jumlah konsentrasi Boron yang diberikan pada bagian GTV. Sedangkan konsentrasi Boron pada bagian PTV dan jaringan sehat lainnya divariasikan sebesar 10% dari konsentrasi Boron yang diberikan pada bagian GTV.

Contoh perhitungan fraksi massa boron-10 dengan konsentrasi 20 µg/g jaringan kanker.

1. GTV

$$V = 14,137 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,05 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{GTV}} &= V \times \rho \\ &= 14,137 \times 1,05 \\ &= 16,9644 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{boron}} &= 20 \cdot 10^{-6} \times 16,9644 \text{ g} \\ &= 3,39288 \times 10^{-4} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{GTV}}} \\ &= \frac{3,39288 \times 10^{-4}}{3,39288 \times 10^{-4} + 16,9644} = 1,99996 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

2. CTV

$$V = 19,1233333 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,20 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{CTV}} &= V \times \rho \\ &= 19,1233333 \times 1,05 \\ &= 22,94799996 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{2} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 22,94799996 \text{ g} \\ &= 2,2948 \times 10^{-4} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{Fraksi massa}_{\text{boron}} = \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{CTV}}}$$

$$= \frac{2,2948 \times 10^{-4}}{2,2948 \times 10^{-4} + 22,94799996} = 0,9999 \times 10^{-5}$$

3. PTV

$$V = 32,1895137 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,03 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{PTV}} &= V \times \rho \\ &= 32,1895137 \times 1,03 \\ &= 33,15519911 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{10} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 33,15519911 \text{ g} \\ &= 6,63104 \times 10^{-5} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{PTV}}} \\ &= \frac{6,63104 \times 10^{-5}}{6,63104 \times 10^{-5} + 33,15519911} = 0,2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

4. Jaringan Otak

$$V = 1370 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,03 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{jaringan}} &= V \times \rho \\ &= 1370 \times 1,03 \\ &= 1411,1 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{10} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 1411,1 \text{ g} \\ &= 2,8222 \times 10^{-3} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{jaringan}}} \\ &= \frac{2,8222 \times 10^{-3}}{2,8222 \times 10^{-3} + 1411,1} = 0,2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

5. Kulit Kepala

$$V = 274 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,1 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{jaringan}} &= V \times \rho \\ &= 274 \times 1,1 \\ &= 301,4 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{10} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 301,4 \text{ g} \\ &= 6,028 \times 10^{-4} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{jaringan}}} \\ &= \frac{6,028 \times 10^{-4}}{6,028 \times 10^{-4} + 301,4} = 0,2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

6. Tulang Tengkorak

$$V = 618 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,85 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{jaringan}} &= V \times \rho \\ &= 618 \times 1,85 \\ &= 1143,3 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{10} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 1143,3 \text{ g} \\ &= 2,2866 \times 10^{-3} \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{jaringan}}} \\ &= \frac{2,2866 \times 10^{-3}}{2,2866 \times 10^{-3} + 1143,3} = 0,2 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

7. Tulang Muka

$$V = 305 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 1,85 \text{ g.cm}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Massa}_{\text{jaringan}} &= V \times \rho \\ &= 305 \times 1,85 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 564,25 \text{ g} \\
\text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{10} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 564,25 \text{ g} \\
&= 1,1285 \times 10^{-3} \text{ g} \\
\text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{jaringan}}} \\
&= \frac{1,1285 \times 10^{-3}}{1,1285 \times 10^{-3} + 564,25} = 0,2 \times 10^{-5}
\end{aligned}$$

8. Jaringan Lunak

$$\begin{aligned}
V &= 5430 \text{ cm}^3 \\
\rho &= 1,0 \text{ g.cm}^3 \\
\text{Massa}_{\text{jaringan}} &= V \times \rho \\
&= 5430 \times 1,0 \\
&= 5430 \text{ g} \\
\text{Massa}_{\text{boron}} &= \frac{1}{10} \times 20 \cdot 10^{-6} \times 5430 \text{ g} \\
&= 1,086 \times 10^{-2} \text{ g} \\
\text{Fraksi massa}_{\text{boron}} &= \frac{\text{massa}_{\text{boron}}}{\text{massa}_{\text{boron}} + \text{massa}_{\text{jaringan}}} \\
&= \frac{1,086 \times 10^{-2}}{1,086 \times 10^{-2} + 5430} = 0,2 \times 10^{-5}
\end{aligned}$$

Untuk hasil fraksi massa boron dengan konsentrasi 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 dan 100 $\mu\text{g/g}$ jaringan diperoleh dengan cara yang sama seperti diatas

Lampiran 3. Data Volume, Massa Jenis dan Fraksi Massa Penyusun Material Organ

a. Volume Organ dan Massa Jenis pada phantom Organ Pria Dewasa

	Volume (cm ³)							
	GTV	CTV	PTV	Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Cranium	Tulang Muka
Volume	14,137	19,1233333	32,1895137	1370	5430	274	618	305
Massa Jenis	1,20	1,20	1,03	1,03	1	1,1	1,85	1,85

b. Fraksi Massa per Konsentrasi Boron

1. 20 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,09899802	0,09899901	0,110666779	0,104471791	0,100587799	0,047323905
C	6012	0,26899462	0,26899731	0,125419749	0,232189536	0,228249544	0,144329711
N	7014	0,0449991	0,04499955	0,013279973	0,02487995	0,046419907	0,041989916

O	8016	0,56898862	0,56899431	0,737721525	0,63023674	0,619000762	0,446095108
Na	11023			0,001839996	0,001129998	6,99999E-05	
Mg	12024			0,00015	0,00013	5,99999E-05	0,002199996
P	15031	0,01799964	0,01799982	0,003539993	0,001329997	0,000329999	0,10496979
S	16032			0,001769996	0,001989996	0,001589997	0,003149994
Cl	17035			0,002359995	0,001339997	0,002669995	
K	19039			0,003099994	0,001989996	0,000849998	
Ca	20040			8,99998E-05	0,00023	0,00015	0,20992958
Fe	26056			4,99999E-05	4,99999E-05	9,99998E-06	
Zn	30065			9,99998E-06	2,99999E-05	9,99998E-06	9,99998E-06
B	5010	1,99996E-05	9,9999E-06	2E-06	2E-06	2E-06	2E-06

2. 30 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,09899703	0,098998515	0,110666668	0,104471687	0,100587698	0,047323858
C	6012	0,26899193	0,268995965	0,125419624	0,232189303	0,228249315	0,144329567
N	7014	0,04499865	0,044999325	0,01327996	0,024879925	0,046419861	0,041989874
O	8016	0,568982931	0,568991465	0,737720787	0,630236109	0,619000143	0,446094662
Na	11023			0,001839994	0,001129997	6,99998E-05	
Mg	12024			0,00015	0,00013	5,99998E-05	0,002199993
P	15031	0,01799946	0,01799973	0,003539989	0,001329996	0,000329999	0,104969685
S	16032			0,001769995	0,001989994	0,001589995	0,003149991
Cl	17035			0,002359993	0,001339996	0,002669992	
K	19039			0,003099991	0,001989994	0,000849997	
Ca	20040			8,99997E-05	0,000229999	0,00015	0,20992937
Fe	26056			4,99999E-05	4,99999E-05	9,99997E-06	
Zn	30065			9,99997E-06	2,99999E-05	9,99997E-06	9,99997E-06
B	5010	2,99991E-05	1,49998E-05	2,99999E-06	2,99999E-06	2,99999E-06	2,99999E-06

3. 40 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,09899604	0,09899802	0,110666557	0,104471582	0,100587598	0,047323811
C	6012	0,26898924	0,26899462	0,125419498	0,232189071	0,228249087	0,144329423
N	7014	0,0449982	0,0449991	0,013279947	0,0248799	0,046419814	0,041989832
O	8016	0,568977241	0,56898862	0,737720049	0,630235479	0,618999524	0,446094216
Na	11023			0,001839993	0,001129995	6,99997E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99998E-05	0,002199991
P	15031	0,01799928	0,01799964	0,003539986	0,001329995	0,000329999	0,10496958
S	16032			0,001769993	0,001989992	0,001589994	0,003149987
Cl	17035			0,002359991	0,001339995	0,002669989	
K	19039			0,003099988	0,001989992	0,000849997	
Ca	20040			8,99996E-05	0,000229999	0,000149999	0,20992916
Fe	26056			4,99998E-05	4,99998E-05	9,99996E-06	
Zn	30065			9,99996E-06	2,99999E-05	9,99996E-06	9,99996E-06
B	5010	3,99984E-05	1,99996E-05	3,99998E-06	3,99998E-06	3,99998E-06	3,99998E-06

4. 50 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,09899505	0,098997525	0,110666447	0,104471478	0,100587497	0,047323763
C	6012	0,268986551	0,268993275	0,125419373	0,232188839	0,228248859	0,144329278
N	7014	0,04499775	0,044998875	0,013279934	0,024879876	0,046419768	0,04198979
O	8016	0,568971551	0,568985775	0,737719311	0,630234849	0,618998905	0,44609377
Na	11023			0,001839991	0,001129994	6,99997E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99997E-05	0,002199989
P	15031	0,0179991	0,01799955	0,003539982	0,001329993	0,000329998	0,104969475
S	16032			0,001769991	0,00198999	0,001589992	0,003149984
Cl	17035			0,002359988	0,001339993	0,002669987	
K	19039			0,003099985	0,00198999	0,000849996	
Ca	20040			8,99996E-05	0,000229999	0,000149999	0,20992895
Fe	26056			4,99998E-05	4,99998E-05	9,99995E-06	
Zn	30065			9,99995E-06	2,99999E-05	9,99995E-06	9,99995E-06
B	5010	4,99975E-05	2,49994E-05	4,99998E-06	4,99998E-06	4,99998E-06	4,99998E-06

5. 60 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,09899406	0,09899703	0,110666336	0,104471373	0,100587396	0,047323716
C	6012	0,268983861	0,26899193	0,125419247	0,232188607	0,228248631	0,144329134
N	7014	0,0449973	0,04499865	0,01327992	0,024879851	0,046419721	0,041989748
O	8016	0,568965862	0,568982931	0,737718574	0,630234219	0,618998286	0,446093323
Na	11023			0,001839989	0,001129993	6,99996E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99996E-05	0,002199987
P	15031	0,01799892	0,01799946	0,003539979	0,001329992	0,000329998	0,10496937
S	16032			0,001769989	0,001989988	0,00158999	0,003149981
Cl	17035			0,002359986	0,001339992	0,002669984	
K	19039			0,003099981	0,001989988	0,000849995	
Ca	20040			8,99995E-05	0,000229999	0,000149999	0,20992874
Fe	26056			4,99997E-05	4,99997E-05	9,99994E-06	
Zn	30065			9,99994E-06	2,99998E-05	9,99994E-06	9,99994E-06
B	5010	5,99964E-05	2,99991E-05	5,99996E-06	5,99996E-06	5,99996E-06	5,99996E-06

6. 70 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,09899307	0,098996535	0,110666225	0,104471269	0,100587296	0,047323669
C	6012	0,268981171	0,268990585	0,125419122	0,232188375	0,228248402	0,14432899
N	7014	0,04499685	0,044998425	0,013279907	0,024879826	0,046419675	0,041989706
O	8016	0,568960173	0,568980086	0,737717836	0,630233588	0,618997667	0,446092877
Na	11023			0,001839987	0,001129992	6,99995E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99996E-05	0,002199985
P	15031	0,01799874	0,01799937	0,003539975	0,001329991	0,000329998	0,104969265
S	16032			0,001769988	0,001989986	0,001589989	0,003149978
Cl	17035			0,002359983	0,001339991	0,002669981	
K	19039			0,003099978	0,001989986	0,000849994	
Ca	20040			8,99994E-05	0,000229998	0,000149999	0,209928531
Fe	26056			4,99997E-05	4,99997E-05	9,99993E-06	
Zn	30065			9,99993E-06	2,99998E-05	9,99993E-06	9,99993E-06
B	5010	6,99951E-05	3,49988E-05	6,99995E-06	6,99995E-06	6,99995E-06	6,99995E-06

7. 80 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,098992081	0,09899604	0,110666115	0,104471164	0,100587195	0,047323621
C	6012	0,268978482	0,26898924	0,125418997	0,232188142	0,228248174	0,144328845
N	7014	0,0449964	0,0449982	0,013279894	0,024879801	0,046419629	0,041989664
O	8016	0,568954484	0,568977241	0,737717098	0,630232958	0,618997048	0,446092431
Na	11023			0,001839985	0,001129991	6,99994E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99995E-05	0,002199982
P	15031	0,01799856	0,01799928	0,003539972	0,001329989	0,000329997	0,10496916
S	16032			0,001769986	0,001989984	0,001589987	0,003149975
Cl	17035			0,002359981	0,001339989	0,002669979	
K	19039			0,003099975	0,001989984	0,000849993	
Ca	20040			8,99993E-05	0,000229998	0,000149999	0,209928321
Fe	26056			4,99996E-05	4,99996E-05	9,99992E-06	
Zn	30065			9,99992E-06	2,99998E-05	9,99992E-06	9,99992E-06
B	5010	7,99936E-05	3,99984E-05	7,99994E-06	7,99994E-06	7,99994E-06	7,99994E-06

8. 90 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,098991091	0,098995545	0,110666004	0,10447106	0,100587095	0,047323574
C	6012	0,268975792	0,268987896	0,125418871	0,23218791	0,228247946	0,144328701
N	7014	0,04499595	0,044997975	0,01327988	0,024879776	0,046419582	0,041989622
O	8016	0,568948795	0,568974396	0,737716361	0,630232328	0,618996429	0,446091985
Na	11023			0,001839983	0,00112999	6,99994E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99995E-05	0,00219998
P	15031	0,01799838	0,01799919	0,003539968	0,001329988	0,000329997	0,104969055
S	16032			0,001769984	0,001989982	0,001589986	0,003149972
Cl	17035			0,002359979	0,001339988	0,002669976	
K	19039			0,003099972	0,001989982	0,000849992	
Ca	20040			8,99992E-05	0,000229998	0,000149999	0,209928111
Fe	26056			4,99996E-05	4,99996E-05	9,99991E-06	
Zn	30065			9,99991E-06	2,99997E-05	9,99991E-06	9,99991E-06
B	5010	8,99919E-05	4,4998E-05	8,99992E-06	8,99992E-06	8,99992E-06	8,99992E-06

9. 100 µg/g

Unsur	Kode dalam program	GTV	CTV	PTV dan Otak	Jaringan Lunak	Kulit	Tulang Tengkorak dan Muka
H	1001	0,098990101	0,09899505	0,110665893	0,104470955	0,100586994	0,047323527
C	6012	0,268973103	0,268986551	0,125418746	0,232187678	0,228247718	0,144328557
N	7014	0,0449955	0,04499775	0,013279867	0,024879751	0,046419536	0,04198958
O	8016	0,568943106	0,568971551	0,737715623	0,630231698	0,61899581	0,446091539
Na	11023			0,001839982	0,001129989	6,99993E-05	
Mg	12024			0,000149999	0,000129999	5,99994E-05	0,002199978
P	15031	0,0179982	0,0179991	0,003539965	0,001329987	0,000329997	0,10496895
S	16032			0,001769982	0,00198998	0,001589984	0,003149969
Cl	17035			0,002359976	0,001339987	0,002669973	
K	19039			0,003099969	0,00198998	0,000849992	
Ca	20040			8,99991E-05	0,000229998	0,000149999	0,209927901
Fe	26056			4,99995E-05	4,99995E-05	9,9999E-06	
Zn	30065			9,9999E-06	2,99997E-05	9,9999E-06	9,9999E-06
B	5010	9,999E-05	4,99975E-05	9,9999E-06	9,9999E-06	9,9999E-06	9,9999E-06

Lampiran 4. Data Fraksi Dosis Serap Gamma

Specific Absorbed Fraction of Photon Energy in kg-1: Recommended Values for Age 15 Male or Adult Female

Source = Brain		Energy (MeV)											
Target	0.010	0.015	0.020	0.030	0.050	0.100	0.200	0.500	1.000	1.500	2.000	4.000	
Adrenals	0.0	0.0	0.0	4.00E-08	7.68E-06	3.65E-05	7.00E-05	1.35E-04	2.10E-04	2.48E-04	2.80E-04	3.40E-04	
UB_Wall	0.0	0.0	0.0	0.0	1.65E-08	3.30E-07	1.41E-06	5.65E-06	1.45E-05	2.31E-05	3.22E-05	5.38E-05	
Bone_Sur	4.28E-03	1.52E-02	3.37E-02	6.13E-02	4.97E-02	1.96E-02	1.07E-02	8.46E-03	7.83E-03	7.38E-03	6.95E-03	5.62E-03	
Brain	6.93E-01	6.50E-01	5.72E-01	3.86E-01	1.93E-01	1.17E-01	1.16E-01	1.17E-01	1.07E-01	9.91E-02	9.21E-02	7.30E-02	
Breasts	0.0	0.0	0.0	1.10E-06	6.59E-05	1.40E-04	2.47E-04	4.12E-04	5.29E-04	5.83E-04	6.14E-04	6.72E-04	
St_Wall	0.0	0.0	0.0	1.42E-08	3.57E-06	1.62E-05	3.34E-05	6.78E-05	1.11E-04	1.44E-04	1.72E-04	2.21E-04	
SI_Wall	0.0	0.0	0.0	1.48E-10	2.39E-07	2.33E-06	6.95E-06	1.93E-05	3.82E-05	5.50E-05	7.05E-05	1.26E-04	
ULI_Wall	0.0	0.0	0.0	2.49E-10	3.27E-07	2.90E-06	8.25E-06	2.23E-05	4.41E-05	6.23E-05	7.95E-05	1.14E-04	
LLI_Wall	0.0	0.0	0.0	0.0	6.01E-08	7.53E-07	2.60E-06	8.68E-06	2.00E-05	3.05E-05	4.11E-05	6.52E-05	
Kidneys	0.0	0.0	0.0	4.26E-09	1.87E-06	1.05E-05	2.35E-05	5.67E-05	9.60E-05	1.25E-04	1.50E-04	2.23E-04	
Liver	0.0	0.0	0.0	2.67E-08	5.35E-06	5.55E-05	8.48E-05	1.62E-04	2.36E-04	2.66E-04	2.79E-04	2.96E-04	
ET1-bas	0.0	1.01E-07	8.44E-05	1.35E-03	5.84E-03	7.33E-03	6.87E-03	7.32E-03	7.20E-03	6.94E-03	6.62E-03	5.37E-03	
ET2-bas	0.0	1.01E-07	8.44E-05	1.35E-03	5.84E-03	7.33E-03	6.87E-03	7.32E-03	7.20E-03	6.94E-03	6.62E-03	5.37E-03	
LN-ET	0.0	1.01E-07	8.44E-05	1.35E-03	5.84E-03	7.33E-03	6.87E-03	7.32E-03	7.20E-03	6.94E-03	6.62E-03	5.37E-03	
BBI-bas	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
BBI-sec	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
bbe-sec	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
AI	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
LN-Th	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
Lng_Tiss	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
Lung_NP	0.0	1.01E-07	8.44E-05	1.35E-03	5.84E-03	7.33E-03	6.87E-03	7.32E-03	7.20E-03	6.94E-03	6.62E-03	5.37E-03	
Lung_TB	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
Lung_P	0.0	0.0	1.61E-08	1.90E-05	2.08E-04	4.40E-04	6.23E-04	7.71E-04	8.93E-04	9.56E-04	9.81E-04	9.57E-04	
Muscle	2.52E-08	3.09E-06	9.39E-05	8.15E-04	1.47E-03	1.40E-03	1.44E-03	1.55E-03	1.52E-03	1.44E-03	1.38E-03	1.22E-03	
Ovaries	0.0	0.0	0.0	0.0	6.08E-08	8.74E-07	3.13E-06	1.06E-05	2.41E-05	3.63E-05	4.86E-05	7.57E-05	
Pancreas	0.0	0.0	0.0	2.01E-08	5.07E-06	2.88E-05	8.16E-05	1.54E-04	1.95E-04	2.23E-04	2.46E-04	3.05E-04	
R_Marrow	6.43E-04	2.09E-03	4.46E-03	8.29E-03	8.51E-03	6.51E-03	5.85E-03	5.49E-03	5.13E-03	4.80E-03	4.52E-03	3.78E-03	
Skin	1.43E-05	8.47E-05	2.99E-04	1.77E-03	2.71E-03	2.35E-03	2.47E-03	2.90E-03	2.86E-03	2.61E-03	2.40E-03	1.98E-03	
Spleen	0.0	0.0	0.0	1.58E-08	4.14E-06	4.86E-05	1.27E-04	2.05E-04	2.70E-04	3.09E-04	3.22E-04	2.82E-04	
Testes	0.0	0.0	0.0	0.0	2.25E-09	7.68E-08	4.31E-07	2.27E-06	6.99E-06	1.22E-05	1.80E-05	3.35E-05	
Thymus	0.0	0.0	3.96E-09	1.50E-05	2.22E-04	4.80E-04	6.89E-04	9.36E-04	1.13E-03	1.20E-03	1.23E-03	1.20E-03	
Thyroid	0.0	1.01E-07	8.44E-05	1.35E-03	5.84E-03	7.33E-03	6.87E-03	7.32E-03	7.20E-03	6.94E-03	6.62E-03	5.37E-03	
GB_Wall	0.0	0.0	0.0	4.04E-09	1.77E-06	1.00E-05	2.28E-05	5.02E-05	8.69E-05	1.15E-04	1.40E-04	1.85E-04	
Ht_Wall	0.0	0.0	0.0	1.11E-06	4.17E-05	1.58E-04	2.93E-04	4.01E-04	5.08E-04	5.81E-04	6.23E-04	6.66E-04	
Uterus	0.0	0.0	0.0	0.0	5.15E-08	7.73E-07	2.84E-06	9.76E-06	2.14E-05	3.42E-05	4.58E-05	7.28E-05	

Lampiran 5. Perhitungan Laju Dosis

Contoh perhitungan laju dosis tiap komponen dan laju dosis total pada konsentrasi boron 20 µg/g jaringan kanker pada jaringan utama kanker (GTV).

1. Laju Dosis Hamburan Neutron ($\dot{D}_{neutron}$)

$$\dot{D}_{neutron} = 3,74148 \times 10^{-5}$$

2. Laju Dosis Boron (\dot{D}_{boron})

m_{boron}	=	$3,39288 \times 10^{-4} \text{ g}$
Ar_{boron}	=	10,81 g/mol
m_{kanker}	=	$1,69644 \times 10^{-2} \text{ kg}$
N_{boron}	=	$\frac{\frac{m(g)}{Ar(g/mol)_{boron}} \cdot 6,023 \times 10^{23} \text{ atom/mol}}{m_{kanker} (kg)}$
	=	$\frac{\frac{3,39288 \times 10^{-4}}{10,81} \cdot 6,023 \times 10^{23}}{1,69644 \times 10^{-2}}$
	=	$1,114338 \times 10^{21} \text{ atom/kg}$
$\phi_{thermal}$	=	$1,24, \times 10^8 \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
σ_{boron}	=	$3,8637, \times 10^{-21}$
E	=	$2,33 \text{ m MeV} \times (1,6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV})$
	=	$3,7280 \times 10^{-13} \text{ J}$
\dot{D}_{boron}	=	$N_{boron} \cdot \phi_{thermal} \cdot \sigma_{boron} \cdot E$
	=	$1,114338 \times 10^{21} \cdot 1,24, \times 10^8 \cdot$
		$3,8637, \times 10^{-21} \cdot 3,7280 \times 10^{-13}$
	=	$1,99228 \times 10^{-4} \text{ Gy/s}$

3. Laju Dosis Proton (\dot{D}_{proton})

$m_{nitrogen}$	=	Fraksi nitrogen $\cdot m_{kanker}$
	=	$4,49991 \times 10^{-2} \cdot 16,9644 \text{ g}$
	=	$6,67959891 \times 10^{-1} \text{ g}$

$Ar_{nitrogen}$	=	14,0008 g/mol
m_{kanker}	=	$1,69644 \times 10^{-2}$ kg
$N_{nitrogen}$	=	$\frac{\frac{m(g)}{Ar(g/mol)_{nitrogen}} \cdot 6,023 \times 10^{23} \text{ atom/mol}}{m_{kanker} (kg)}$ $= \frac{\frac{6,67959891 \times 10^{-1}}{14,0008} \cdot 6,023 \times 10^{23}}{1,69644 \times 10^{-2}}$ $= 1,693838 \times 10^{24} \text{ atom/kg}$
ϕ_{termal}	=	$1,24, \times 10^8 \text{ n.cm}^{-2} \cdot s^{-1}$
$\sigma_{nitrogen}$	=	$1,8269 \times 10^{-24} \text{ kg}$
E	=	$0,63 \text{ MeV} \cdot 1,6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV}$ $= 1,008 \times 10^{-23} \text{ J}$
\dot{D}_{proton}	=	$N_{nitrogen} \cdot \phi_{termal} \cdot \sigma_{nitrogen} \cdot E$ $= 1,693838 \times 10^{24} \cdot 1,24, \times 10^8 \cdot 1,8269 \times 10^{-24} \cdot 1,008 \times 10^{-23}$ $= 4,42253 \times 10^{-5} \text{ Gy/s}$

4. Laju Dosis Gamma (\dot{D}_γ)

$m_{hidrogen}$	=	Fraksi hidrogen . m_{kanker} $= 9,899802 \times 10^{-2} \cdot 16,9644 \text{ g}$ $= 1,469511759 \text{ g}$
$Ar_{hidrogen-kanker}$	=	2 g/mol
m_{kanker}	=	$1,69644 \times 10^{-2}$ kg
$N_{hidrogen-kanker}$	=	$\frac{\frac{m(g)}{Ar(g/mol)_{boron}} \cdot 6,023 \times 10^{23} \text{ atom/mol}}{m_{kanker} (kg)}$ $= \frac{\frac{1,469511759}{2} \cdot 6,023 \times 10^{23}}{1,69644 \times 10^{-2}}$ $= 2,60866 \times 10^{25} \text{ atom/kg}$
ϕ_{termal}	=	$1,24, \times 10^8 \text{ n.cm}^{-2} \cdot s^{-1}$

$\sigma_{hidrogen}$	$= 3,3196 \times 10^{-25}$
\ddot{R}	$= N_{hidrogen-kanker} \cdot \phi_{termal} \cdot \sigma_{hidrogen}$ $2,60866 \times 10^{25} \cdot 1,24 \times 10^8 \cdot 3,3196 \times 10^{-25}$ $= 1,073803759 \times 10^9 \text{ Bq/kg}$ $=$
Δ	$= 2,23 \text{ MeV}/\gamma \cdot 1,6 \times 10^{-13}$ $= 3,568 \times 10^{-13} \text{ Gy.kg/Bq.s}$
ϕ	$= 9,21 \times 10^{-2}$ (interpolasi tabel fraksi serapan dengan sumber berada di otak dan target adalah otak) *Lampiran 4
\dot{D}_γ	$= \ddot{R} \cdot \Delta \cdot \phi$ $= 1,0738 \times 10^9 \cdot 3,568 \times 10^{-13} \cdot 9,21 \times 10^{-2}$ $= 4,03677 \times 10^{-5}$

5. Laju Dosis Total (\dot{D}_{total})

$$\begin{aligned}
 \dot{D}_{total} &= (w_{boron} \times \dot{D}_{boron}) + (w_p \times \dot{D}_{proton}) + (w_n \times \dot{D}_{neutron}) + (w_\gamma \times \dot{D}_\gamma) \\
 &= (3,8 \times 1,99228 \times 10^{-4}) + (3,2 \times 4,42253 \times 10^{-5}) + \\
 &\quad (3,2 \times 3,74148 \times 10^{-5}) + (1,1 \times 4,03677 \times 10^{-5}) \\
 &= \mathbf{1,0587 \times 10^{-3} \text{ Gy/s}}
 \end{aligned}$$

Untuk perhitungan laju dosis pada jaringan organ lain dan pada konsentrasi boron yang berbeda mengikuti cara dan persamaan seperti diatas.